



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# AVOIMEN FORMAATIN ÄÄNITALENNIN

Kitaratallentimen toteutuksen kannattavuuspohdintaa

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Tietotekniikka  
Tietokone-elektroniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2012  
Arto Oinonen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikka

OINONEN, ARTO:

Avoimen formaatin äänitallennin  
Kitaratallentimen toteutuksen kannattavuuspohdintaa

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 38 sivua, 3 liitesivua

Kevät 2012

TIIVISTELMÄ

---

Työn tarkoituksena oli suunnitella yksinkertainen digitaalinen kitaratallennin piirikaaviotasolla ja tarkastella, onko laitteen toteuttaminen kannattavaa markkinoilla oleviin laitteisiin verrattuna. Työ aloitettiin tarkastelemalla markkinoilla nykyisin olevia laitteita.

Työssä tarkasteltiin äänentallennuksen teoriaa ennen laitteen suunnittelua. Tutkitun tiedon perusteella valittiin sovellukseen sopiva AD-muunnintekniikka ja pakkausformaatti.

Laitteen suunnittelu aloitettiin komponenttien valinnalla. Äänenkäsittelypiiriksi valittiin VLSI VS8053 ja tallennusratkaisuksi SD-muistikortti. Laitteen toimintaa ohjaa Atmel ATmega328 -mikrokontrolleri SPI-väylän kautta.

Laitteen ohjelmointia käsiteltiin työssä teoriatasolla, mutta työssä käytettyjen kytkentöjen toimintaa testattiin esimerkkiohjelmilla, joita voitaisiin hyödyntää myös varsinaisessa ohjelmassa.

Laitteen todennäköinen hintaluokka arvioitiin käytettyjen komponenttien jälleennyntihintojen perusteella. Hintaluokan perusteella laitteen toteuttamista ei todettu kannattavaksi, koska laitteessa on ainoastaan perustallennusominaisuudet. Työssä esitellään parannusehdotuksia, joilla laite voitaisiin saada tuotantokelpoiseksi.

Asiasanat: kitaratallennin, AD-muunnos, Ogg Vorbis, MP3, VS8053, ATmega328, SD-kortti

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Information Technology

OINONEN, ARTTO:

Audio recorder in open format  
Considerations of profitability of a guitar  
recorder

Bachelor's Thesis in Computer Electronics, 38 pages, 3 pages of appendices

Spring 2012

ABSTRACT

---

The aim of the thesis is to design a simple digital guitar recorder pedal on a schematics level and to evaluate the profitability of the device compared to the recorders currently on market.

A correct AD converter technology and audio compressing format have to be decided before the design process. Therefore the thesis covers the basic theories of audio recording, AD converters and audio compressing formats.

The design process is started with the selection of the core components. VLSI VS8053 codec circuit was selected for audio compression and the audio data is stored on a SD memory card. The functions of the device are controlled by Atmel ATMega328 microcontroller via SPI bus.

The programming of the device is covered only on a shallow theoretical level, but the designed connections are tested with sample codes, which could be utilized in the actual source code.

The probable price class of the device was approximated by examining the cost of the components. The production of the device was considered not to be profitable, because the price class would be too high considering the functions of the device compared to the competitors already on the market. The thesis offers suggestions for further design to make the device more profitable.

Key words: guitar recorder, AD converter, Ogg Vorbis, MP3, VS8053, AT-Mega328, SD Card

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TAUSTATIETOA	2
2.1	Markkinoilla olevat laitteet	2
2.2	Digitaalisen äänentallennuksen teoriaa	5
2.2.1	AD-muunnos	6
2.2.2	Pakkaus	8
2.2.3	MP3	9
2.2.4	Ogg Vorbis	10
3	SUUNNITTELU	11
3.1	Komponenttien valinta	11
3.1.1	DSP-Piiri	11
3.1.2	Tallennusmuisti	12
3.1.3	Mikrokontrolleri	14
3.1.4	Virtalähde	14
3.2	Kytkenät	16
3.2.1	Mikrokontrollerin minimikytkenät	16
3.2.2	VS8053-piirin minimikytkenät	17
3.2.3	SPI-väylä	20
3.2.4	I/O-kytkenät	21
3.2.5	Virtalähde	23
3.3	Ohjelmistovaatimukset	24
3.3.1	Ogg Vorbis -enkooderi	24
4	TESTAUS	29
4.1	Proessorien toiminnan varmistaminen	29
4.2	VS8053-piirin ohjaus	30
4.3	SD-kortti	31
5	YHTEENVETO	33
5.1	Parannusehdotukset	34
5.2	Kokemukset opinnäytetyöprosessista	35
	LÄHTEET	37
	LIITTEET	39

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli tutustua markkinoilla oleviin kitaratallenninlaitteisiin ja tutkia, olisiko yksinkertaisen tallennuslaitteen toteuttaminen kannattavaa pienessä tuotantoerässä. Työssä otettiin selvää suosituimpien tallenninlaitteiden ominaisuuksista ja tutkittiin, millaisilla ratkaisuilla voitaisiin toteuttaa laite, joka olisi muita markkinoilla olevia laitteita paremmin suunnattu kitaristien perustarpeisiin. Laitteen tulisi kilpailla markkinoilla erityisesti edullisella hinnallaan, koska useissa markkinoilla olevissa laitteissa on kitaristien käyttöön tarpeettomia ominaisuuksia, jotka nostavat laitteiden hintaa.

Tavoitteena oli suunnitella piirikaaviotasolla laite, joka on mahdollisimman edullinen ja yksinkertainen. Laite suunniteltiin pedaalimalliseksi ja kiinteästi signaaliketjuun kitaran ja vahvistimen välille asennettavaksi, jotta tallentamisen aloittaminen olisi mahdollisimman helppoa jalkakytkimellä. Laite ei saa muokata vahvistimelle menevää äänisignaalia, vaan sen on oltava huomaamaton osa signaaliketjua. Piirikaavion lisäksi tutustuttiin myös laitteen tarvitseman ohjelmiston rakenteeseen teoriatasolla.

Markkinoilla olevaa tarjontaa tarkastellessa huomattiin, että laitteet tallentavat joko pakattuun tai pakkaamattomaan ääniformaattiin. Laitteissa käytetyt pakatut ääniformaatit ovat poikkeuksetta patentilla suojattuja suljettuja formaatteja, joita käytettäessä on huolehdittava lisenssimaksujen maksamisesta patentinhaltijoille. Työssä otettiin selvää, onko äänen pakattuun tallennukseen olemassa avoimia vaihtoehtoja ja kuinka avoimet vaihtoehdot eroavat suljetuista esimerkiksi äänenlaadultaan ja pakkaustavaltaan.

Markkinoilla olevat laitteet tallentavat äänitiedostot joko sisäiseen muistiin tai vaihdettavalle muistikortille. Työssä otettiin selvää, kuinka laitteen tallennustila olisi järkevintä toteuttaa. Työssä pohdittiin myös, kuinka tallennetut äänitiedostot siirretään tallennusmuistilta tietokoneelle tai muulle toistinlaitteelle.

## 2 TAUSTATIETOA

### 2.1 Markkinoilla olevat laitteet

Kitaristien käyttöön soveltuvia äänitallentimia on lukuisia erilaisia. Yleisimmät laitteet voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään: kannettavat kenttätallentimet ja monikanavataallentimet. Molempien ryhmien laitteet ovat ominaisuuksiltaan monipuolisia, ja suuri osa ominaisuuksista jää kitaransoittoa tallentaessa käyttämättä. Lisäksi on olemassa digitaalisia multiefektilaitteita, joissa on myös tallennusominaisuuksia, mutta nämä eroavat pääasialliselta käyttötarkoitukseltaan niin paljon, ettei niitä tässä työssä käsitellä.

Kenttätallentimien suunnittelun perusedellytys on kannettavuus ja pieni koko. Laitteet ovat yleensä akku- tai paristokäyttöisiä ja varustettu sisäisellä stereomikrofonilla, linjatasoisella tuloliittimellä sekä kuulokeliittimellä. Käyttäjän rajapintana on yleensä lcd-näyttöön ja painikkeisiin perustuva valikkosysteemi ja laitteet muistuttavat ulkoisesti kannettavia musiikkisoittimia. Laitteissa on joko sisäinen muisti ja USB-liitin tai SD-muistikorttiliitäntä. Laitteet siis sopivat hyvin kitaran tallentamiseen, mutta niiden varsinainen käyttötarkoitus on nopea, hyvälaatuinen äänentallennus silloin, kun muita tallennuslaitteita ei ole saatavilla tai niitä ei ole mahdollista käyttää.

Yksi suosituimmista kenttätallentimista on Roland Edirol R-09, joka on esitetty kuviossa 1. Laitteella on mahdollista tallentaa stereoääntä joko sisäänrakennetuilla mikrofoneilla tai linjatuloliittimen kautta. Ääni tallennetaan pakatussa MP3-formaatissa 24-bittisenä 48 kHz:n näytteenottotaajuudella SD-muistikortille. Laitteessa on kuulokeliitin, jota voidaan käyttää tallennuksen seuraamiseen ja tallennettujen äänitiedostojen kuuntelemiseen. Laitteen jälleenmyyntihinta vuonna 2009 oli 267 €. (Coffey 2009.)



KUVIO 1. Roland Edirol R-09 (Coffey 2009)

Monikanavataallentimet ovat monipuolisia studio- ja konserttikäyttöön tarkoitettuja laitteita, jotka pystyvät tallentamaan useampaa, yleensä 4 - 8, kanavaa samanaikaisesti. Jokaiselle kanavalle on tasonsäätöpotentiometri, joten tarvittaessa koko yhtyeen soittaman musiikin voi tallentaa samalla kertaa. Laitteita käytetään yleisesti muun muassa konserttiäänitteisiin. Eräs suosituimmista monikanavataallentimista on Tascam DP-004 Digital Pocketstudio, joka tallentaa äänen nelikanavaisena kahdesta stereoliittimestä, joihin voidaan kytkeä linjatasoinen tai mikrofonisignaali. Laite on esitetty kuviossa 2. Ääni tallennetaan 16-bittisenä pakkaamattomana WAV-tiedostona 44,1 kHz:n näytteenottotaajuudella ja valmistaja lupaa äänen olevan samanlaatuinen kuin CD-levyllä. Laitteen jälleenmyyntihinta vuonna 2009 oli 153 €. (Tascam 2012.)



KUVIO 2. Tascam DP-004 (Coffey 2009)

Monille kitaristeille olemassaolevat laitteet ovat liian kalliita ja monipuolisia, ja onkin syntynyt kysyntää edullisemmalle peruslaitteelle, joka on erityisesti suunniteltu kitaristien tarpeeseen. Monet sävellysideat syntyvät yhtyeen harjoitellessa ja ideoiden tallentaminen jatkokehitystä varten on usein merkittävin käyttötarkoitus

äänitallentimelle. Tallentimen tulisi siis olla helppokäyttöinen niin, että sen voi kytkeä nopeasti päälle yhtyeen harjoitusten kesken. Tallennetta ei tällöin ole tarkoitettu julkaistavaksi sellaisenaan, joten äänenlaadun on oltava ainoastaan välttämättä. Tallennin voisi olla aina signaaliketjussa kitaran ja vahvistimen välillä ja kytkettävissä päälle nopeasti jalkakytkimellä.

Puhtaasti kitaratallentimeksi tarkoitettuja laitteita on markkinoilla rajallisesti. Yksi suosituimmista laitteista on Line6 BackTrack, joka on esitetty kuviossa 3. BackTrack on pienikokoinen tallennin, jossa on ainoastaan linjatasoiset yksikanavaiset sisään- ja ulostuloliittimet. Laite tallentaa päällä ollessaan aina, kun se havaitsee äänivirtaa. Ääni tallennetaan 24-bittisenä pakkaamattomana WAV-tiedostona 48 kHz:n näytteenottotaajuudella. Laitteessa on sisäinen muisti, jolta tiedostoja voi siirtää tietokoneelle USB-väylän kautta. USB-väylän kautta ladataan myös laitteen sisäistä akkua. Valmistaja lupaa muistikapasiteetin riittävän 12 tunnin tallennukseen. (Line6 2012.) Laitteen jälleennmyyntihinta vuonna 2009 oli 76 € (Coffey 2009).



KUVIO 3. Line6 BackTrack (Coffey 2009)

Tässä työssä otettiin selvää, mitä yksinkertaisen kitaratallentimen toteuttamiseen vaadittaisiin ja olisiko laitteen tuotanto kannattavaa pienessä, noin 100 kappaleen tuotantoerässä. Jotta laitteen tuotannosta saataisiin kannattavaa, sen tulisi kilpailla samassa 50 - 100 euron hintaluokassa kuin Line6 BackTrack. Tätä kalliimmissa laitteissa on jo enemmän ominaisuuksia, joten on epätodennäköistä että kuluttaja valitsisi saman hintaluokan laitteista sen, joka tarjoaa vain perustoiminnot, jos monipuolisempia laitteita on saatavilla.



## 2.2 Digitaalisen äänentallennuksen teoriaa

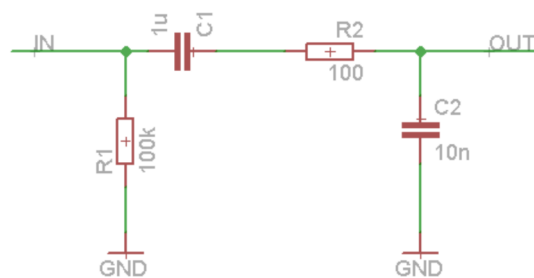
Kitarasta ulostuleva analoginen äänisignaali on muunnettava digitaaliseksi, jotta se voidaan tallentaa laitteen muistiin. Äänen tallennusketju on yksinkertaistettuna kuvattu kuviossa 4.



KUVIO 4. Äänen tallennusketju

Analogisesta signaalista suodatetaan tasajännitekomponentti sekä korkeat häiriötaajuudet RC-kaistanpäästösuotimilla, mistä eräs esimerkki on kuvattu kuviossa 5. Esimerkkisuodatin koostuu ali- ja ylipäästösuodattimista. RC-suodattimen -3 dB:n rajataajuus voidaan laskea kaavalla

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$



KUVIO 5. RC-esimerkkisuodin

Esimerkkisuodattimen -3 dB:n rajataajuudet ovat ylipäästösuotimelle

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 100k\Omega * 1\mu F} = 1,6\text{ Hz}$$

ja alipäästösuotimelle

$$f_{-3dB} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 100\Omega * 10\text{ nF}} = 160\text{ kHz}$$

Suodatetulle signaalille tehdään AD-muunnos, joka muuttaa signaalin digitaaliseen muotoon. Digitaalista signaalia voidaan tarvittaessa muokata signaalinkäsittelyalgoritmeilla. Algoritmien avulla signaalia voidaan esimerkiksi suodattaa tai siitä voidaan korostaa tiettyjä taajuuksia digitaalisella taajuuskorjaimella. Signaaliin voidaan lisätä myös erilaisia tehosteita, esimerkiksi kaikua.

Lopuksi ääni enkoodataan formaattiin, jossa se tallennetaan tallennusmuistiin. Ääniformaateissa on eroja ja sovellukseen sopivaa formaattia valittaessa on kiinnitettävä huomiota muun muassa äänenlaadun säilymiseen, tiedostokokoon sekä formaatin purkuun käytettävän dekooderin yleisyyteen. Laajaa jakelua tavoiteltaessa on syytä käyttää yleisesti käytettyjä formaatteja, jotta niiden toisto onnistuu mahdollisimman monella laitteella.

### 2.2.1 AD-muunnos

AD-muunnin tarkkailee sisään tulevaa jännitetasoa ja vertaa sitä tunnettuun referenssitason. Signaalista otetaan näytteitä, jotka kvantisoidaan, eli pyöristetään lähimpään taulukoituun jännitearvoon. Kvantisoidut näytteet koodataan pulssikoodimoduloituun (PCM) binäärimuotoon.

Mahdollisten jännitetasojen määrää kuvaa muuntimen resoluutio. Kun näytteitä otetaan riittävän usein ja muunnos suoritetaan riittävällä resoluutiolla, saadaan analoginen signaali kuvattua tarkasti digitaalisessa muodossa. Muuntimen näytteenottotaajuus tarkoittaa taajuutta, jolla näytteitä otetaan signaalista. (Henriksson 2005, 4-11.)

Sovellukseen riittävää näytteenottotaajuutta määritettäessä hyvä periaate on Nyquistin teoreema. Teoreeman mukaan alkuperäistä vastaava signaali voidaan ra-

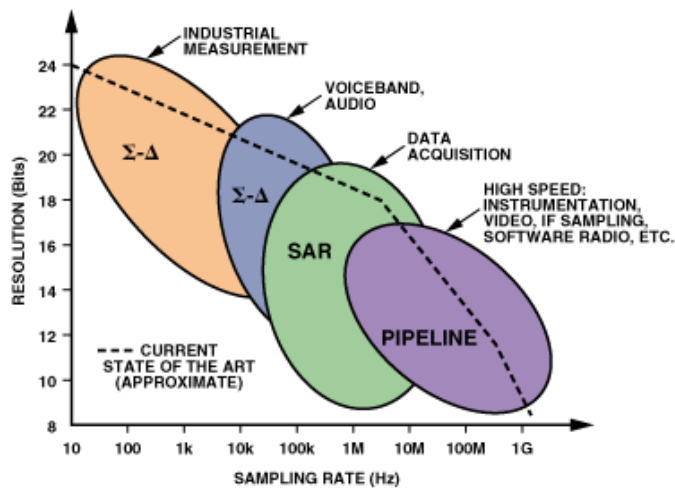
kentaa uudelleen, kun näytteistys on tehty vähintään kaksinkertaisella taajuudella suurimpaan signaalissa esiintyvään taajuuteen nähden. (Henriksson 2005, 4.) Nyquistin teoreemasta johtuu toisaalta myös se, että muuntimen maksimitaajuuden ylittäviä taajuuskomponentteja ei voida näytteistää luotettavasti, vaan ne saattavat esiintyä signaalissa ei-haluttuina piikkeinä. Muuntimen taajuusalueen ylittävät taajuuskomponentit on siis suodatettava signaalista pois ennen AD-muunnosta alipäästösuoittimella.

Ihmisen kuuloalue on noin 20 Hz - 20 kHz, ja tästä on johdettu Nyquistin teoreeman mukaan CD-levystandardiin näytteenottotaajuus 44.1 kHz (Henriksson 2005, 10). Korkein kitaran tuottama nuotti on noin 1700 Hz. Varsinkin säröytetty kitara tuottaa kuitenkin monta harmonista taajuutta perusnuotin lisäksi, jotka on otettava näytteenottotaajuutta määrittellessä huomioon. Kitarakaiuttimet toistavat yleensä n. 5 - 6 kHz taajuuteen asti ja tätä voitaisiin pitää hyvänä lähtökohtana ylärajataajuuden määrittämiselle. (Hietala 2003.) 5 kHz:n ylärajataajuus rajaisi kuitenkin korkeimpien kitaran tuottamien äänien korkeimman harmonisen ylätaajuuden kolmanteen ja ylemmät harmoniset voivat tuottaa AD-muunnoksessa ongelmia, jos niitä ei suodateta pois ennen AD-muunnosta. Korkeampien harmonisten taajuuksien suodattaminen vaikuttaisi äänenlaatuun, varsinkin säröytetyllä kitarasignaalilla.

Tallennin halutaan lisäksi pitää riittävän monipuolisena niin, että tallennettuja näytteitä voidaan käyttää tarvittaessa musiikissa muuttamatta näytteenottotaajuutta. Laitteella tulisi olla myös mahdollista nauhoittaa muita soittimia, vaikka pääasiallinen käyttökohde onkin kitara. Onkin suotavaa käyttää näytteenottotaajuuden määrittelyyn koko ihmisen kuuloaluetta. Valitaan siis näytteenottotaajuudeksi musiikkitalenteissa yleinen 44.1 kHz ja suodatetaan signaalista ei-toivotut ylemmät harmoniset taajuudet tarvittaessa digitaalisesti muunnoksen jälkeen. Laitetta eteenpäin kehitettäessä voidaan näin antaa käyttäjälle mahdollisuus asettaa tallenteiden taajuuskaista itse helpolla käyttöliittymällä.

Muunnoksen laatu riippuu muuntimen resoluution ja näytteenottotaajuuden lisäksi muuntimen toteutuksesta. Yleisimmät ja laadukkaimmiksi havaitut nykyiset muunnintekniikat ovat SAR-, pipeline- ja sigma-delta-muuntimet. Muunnintyypp-

pien tyypillistä resoluutiota ja näytteenottotaajuutta on vertailtu kuviossa 6. (Kester 2005, 1.)



KUVIO 6. Yleisimpien muunnintyyppien ominaisuudet (Kester 2005, 1)

Kuviosta 6 havaitaan, että 44.1 kHz:n näytteenottotaajuudelle yleisimmistä muunnintyypeistä sopivat sigma-delta- ja SAR-muuntimet. Walt Kester (2005, 4) suosittelee artikkelissa ”Which ADC Architecture Is Right for Your Application” sigma-delta-muuntimen käyttöä äänisovelluksiin, koska muunnintekniikan ylinäytteistys takaa pienen kvantisointivirheen kautta luotettavan muunnostuloksen ja muuntimen harmoninen särö on pieni. Suuri osa muuntimesta on toteutettu digitaalisesti, joten muuntimen toteuttaminen on edullista ja samaan piiriin voidaan lisätä digitaalisia suodattimia ja muita digitaalisia toimintoja pienin kustannuksin. (Kester 2005, 4.)

### 2.2.2 Pakkaus

AD-muunnoksen jälkeen äänivirta on digitalisoitu vastaamaan mahdollisimman tarkasti alkuperäistä signaalia. Signaali on pulssikoodimoduloidussa PCM-muodossa, missä jatkuva-aikainen signaali on esitetty ajan suhteen tasavälisinä näytteinä, joiden kvantisointi on tasavälinen. (Koppinen 2009, 2.) Dataa voidaan käyttää sellaisenaan, mutta siinä on usein informaatiota, joka voidaan poistaa ilman, että ihmisen kuuloaisti kykenee havaitsemaan eroa. Ylimääräisen informaation poistaminen pienentää tiedostokokoa merkittävästi. Prosessia kutsutaan häviölliseksi pakkaukseksi, koska purettu data ei pakkauksen jälkeen enää muistuta

alkuperäistä, vaan siitä puuttuu informaatiota. Ääntä voidaan pakata myös häviöttömästi niin, että purettu data vastaa alkuperäistä signaalia.

Pakkauksen tehokkuutta tarkastellaan pakkaussuhteen kautta: kuinka suuri pakattu tiedosto on suhteessa alkuperäiseen. Häviöttömän pakkauksen vaikutus tilansäätöön on vähäinen: tavallinen pakkaussuhde on 1:2. (Jalkanen 2000.)

### 2.2.3 MP3

MPEG-1 Audio Layer III eli MP3 on tunnetuin häviöllinen äänenpakkausmenetelmä, jossa käytetään hyväksi ihmisen kuuloaistin ominaisuuksia. Menetelmä on osa MPEG-standardia. Pakkauksessa signaali jaetaan tasalevyisiin taajuuskaistoihin, joita käsitellään erikseen psykoakustisen mallin avulla. (Jalkanen 2000.)

Psykoakustisen mallin mukaan ihmisen kuulo toimii eri tarkkuudella eri taajuuksilla. Esimerkiksi matalien äänien suunta on epäselvä ja lähekkäisistä taajuuksista ihminen kuulee ainoastaan sen, jonka intensiteetti on suurempi. Tarkin ihmisen kuulo on puhutun äänen taajuusalueella 2-4 kHz. Mallin perusteella voidaan mataltaa kuulon kannalta epäolennaisempien taajuuskaistojen resoluutiota ja näin hävittää osa informaatiosta, jos kvantisointikohina ei nouse ihmisen havaittavaksi. (Pan 1995.) MP3-formaatin tyypillinen pakkaussuhde on 1:8 – 1:12 (Jalkanen 2000).

MP3-formaatissa on perinteisesti käytetty vakiodatavirtaa (CBR, Constant Bit Rate), joka tarkoittaa, että datavirta pysyy kiinteänä sisällöstä riippumatta. Yleisesti käytetty datavirta on 128 kbit/s, kun vastaavan PCM-koodatun signaalin datavirta on 1,4 Mbit/s (Jalkanen 2000). Formaattissa voidaan kuitenkin käyttää myös vaihtelevaa datavirtaa (VBR, Variable Bit Rate), jolloin helpommin enkoodattavat signaalin osat enkoodataan pienemmällä bittivirralla ja enemmän ääni-informaatiota sisältäviin osiin voidaan lisätä databittejä, jotta äänenlaatu säilyy vakiona. (VLSI 2010a, 21.)

MPEG-standardi ei määrittele enkooderia, vaan pelkästään datan formaatin ja dekooderin. Enkooderi voidaan siis suunnitella tarpeen mukaan, kunhan se tuottaa standardin mukaista äänidataa. (Jalkanen 2000.) MP3-pakkausmenetelmä ei kui-

tenkaan ole vapaasti hyödynnettävissä, vaan patenttioikeuksien mukaan käyttäjän täytyy maksaa formaatin käytöstä lisenssimaksu patentinhaltijoille Fraunhofer IIS:lle ja Thomsonille. Patenttimaksun suuruus on 1,25 Yhdysvaltain dollaria mp3-pakkaukseen ja purkuun pystyvää laitetta kohti. (Technicolor 2009.)

#### 2.2.4 Ogg Vorbis

Ogg Vorbis on avoimen lähdekoodin lisenssivapaa ääniformaatti, jonka käyttöön ei tarvita lisenssiä, vaan koodekki on vapaasti hyödynnettävissä. Formaattia kehittää Xiph.org-säätiö. Formaattissa ääni on pakattu Vorbis-pakkausmenetelmällä ogg-tiedostoon. (Xiph.org 2003.)

Vorbis-pakkausta voidaan verrata MP3-formaattiin, sillä molemmissa äänestä poistetaan informaatiota psykoakustisen mallin mukaan. VLSI:n (2010, 20) mukaan Ogg Vorbis -formaatin äänenlaatu on samalla datavirralla MP3-pakattua tiedostoa parempi, varsinkin pienen datavirran sovelluksissa. Ogg Vorbis -formaatti on kuitenkin suunniteltu käyttämään vaihtelevaa datavirtaa. Nimellisdatavirran sijaan ilmoitetaan yleensä laatuluokitus, tavallisesti numerona väliltä -1-10, missä -1 tarkoittaa pienintä datavirtaa ja siten suurempaa pakkaussuhdetta. CD-laatuiseksi luvataan laatuluokka 5, minkä nimellisdatavirta on n. 160 kbit/s. (Xiph.org, 2003) Valitaan työhön käyttöön Ogg Vorbis -formaatti, koska pakkaustavat toimivat samalla periaatteella, mutta Ogg Vorbis on avoin, vapaasti hyödynnettävä formaatti, minkä äänenlaadun luvataan myös olevan parempi.

Ogg Vorbis -formaattia käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon formaatin ja sitä purkavien dekooderien yleisyys. Formaatti on yleisesti tuettu ja dekooderi on saatavilla yleisimmille käyttöjärjestelmille, mutta laitteistopohjaisia koodekkipiirejä on MP3-formaattia vähemmän, mikä rajaa vaihtoehtoja enkooderipiiriä valittaessa. Enkooderia valittaessa onkin siis syytä tarkastella formaattivalintaa uudelleen, jos sovellukseen sopivaa piiriä ei ole saatavilla.

### 3 SUUNNITTELU

Työn tavoitteena oli suunnitella laite, joka tallentaa sisääntulevan analogisen äänisignaalin pakatussa Ogg Vorbis -formaatissa. Äänisignaali otetaan vastaan linjatasoisella 6,3 mm:n liittimellä ja laitteeseen toteutettiin myös ohitusliitin, jonka kautta tulevan äänisignaalin saa vietyä sellaisenaan signaaliketjussa eteenpäin.

Käyttäjälle rajapintana on jalkakytkin sekä tallennuksesta kertova led-valo. Laite voi olla aina päällä valmiustilassa kuten muut kitaran efektilaitteet, joten virrankulutuksen on syytä olla valmiustilassa pieni. Laitteen tulisi toimia yhdessä muiden efektilaitteiden kanssa, joten suositeltavinta on käyttää efektilaitteissa lähes standardin asemassa olevaa 9 V:n jännitelähdettä. Laite suunniteltiin kitaraefekteissä yleiseen Hammond 1590 -sarjan valualumiinikoteloon. Lopullisen kotelon koon määrää laitteen piirilevyn ja ulkoisten komponenttien tilantarve.

#### 3.1 Komponenttien valinta

##### 3.1.1 DSP-Piiri

Ensimmäinen valittava komponentti oli äänenkäsittelypiiri, jonka mukaan valitaan muut komponentit. Koska toteutus haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja edullisena mutta silti laadukkaana, piirissä tulisi olla sisäinen sigma-delta-muunnin, joka kykenee vähintään 16-bittiseen muunnokseen 44.1 kHz:n näytteenottotaajuudella. Piirin tulisi myös pystyä Ogg Vorbis -formaatin pakkaamiseen, eli piirissä tulisi olla sisäänrakennettu Ogg Vorbis -koodekki. Piirissä tulisi myös olla riittävästi I/O-liitäntöjä ja resursseja itsenäiseen toimintaan tai vaihtoehtoisesti yksinkertainen rajapinta mikrokontrolleriohjaukselle.

Vaatimukset täytti suomalaisen VLSI-yrityksen VS1053-piiri. Piiri on integroitu äänikoodekkipiiri, missä on yrityksen oman VSDSP-signaaliprosessoriytimen lisäksi sigma-delta-tekniikalla toteutetut AD- ja DA-muuntimet, kuuloke- ja mikrofonivahvistimet sekä sisäinen ohjelma- ja datamuisti. Piirissä on sisäänrakennetut dekooderit mm. yleisimmille WAV-, MP3-, WMA-, FLAC- ja Ogg Vorbis

-formaateille sekä ADPCM- ja PCM-enkooderit. Piirille on saatavilla Ogg Vorbis -enkooderi ohjelmistolaajennoksena. (VLSI 2010b, 1.)

VS1053-piiri toimii yksinkertaisimmillaan itsenäisenä toistinpiirinä, mutta yleensä piiriä suositellaan käytettäväksi mikrokontrolleriohjattuna orjapiirinä (VLSI 2010b, 16). Kommunikointia varten piirissä on SPI-väylät komentojen ja datan siirtoon. Piirissä on myös I2S-väylä ulkoiselle DA-muuntimelle sekä UART-sarjaportti virheenkorjaukseen ja toiminnan seuraamiseen. (VLSI 2010b, 1.)

Mikrokontrolleriohjattuna piiri on mahdollista pitää reset-tilassa, kun tallennus ei ole käynnissä. Reset-tilassa valmistaja lupaa suurimmillaan 52  $\mu\text{A}$ :n virrankulutuksen, joten piirillä on mahdollista toteuttaa laite, joka on aina tallennusvalmiina, mutta virrankulutus on erittäin vähäinen. Ogg-tiedostoa toistettaessa piirin virrankulutus on tyypillisesti noin 20 mA, mutta tallennustilan virrankulutusta ei ole mainittu. (VLSI 2010b, 12.)

VS1053-piirin myyntihinta sisältää lisenssit MP3- ja WMA-toistoon. Koska formaatit ovat suljettuja ja niiden käyttö vaatii lisenssin, VLSI on julkaissut piiristä myös avoimen version VS8053, josta suljettujen formaattien käyttö on estetty sisäisillä sulakkeilla eikä lisenssejä tule mukana. Koska työssä käytetään avointa Ogg Vorbis -formaattia eikä suljetuille formaateille ole tarvetta, valittiin työhön äänipiiriksi VS8053. (VLSI 2010b, 1.)

### 3.1.2 Tallennusmuisti

Tallentimeen tarvitaan riittävästi muistia, johon tallentaa äänitetyt tiedostot. Vaikka Ogg Vorbis on pakattu formaatti, äänitiedostot kasvavat helposti suureksi. Jos arvioidaan tallennusten keskimääräiseksi datavirraksi 100 kilobittiä sekunnissa ja halutaan laitteen pystyvän vähintään 10 tunnin tallennukseen ennen muistin tyhjentämistä, tallennuksille tulisi varata vähintään 430 megatavua:

$$C = \frac{100\,000 \frac{b}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 10 h}{8 \frac{b}{B}} = 430 MB$$



Datan on myös pysyttävä muistissa virtakatkosten yli, mikä rajaa muistivaihtoehtoja. Virtakatkosten yli datan säilyttävistä muistityypeistä yleisimmät ovat EEPROM ja Flash. Koska EEPROM-muistien kapasiteetti on kilotavuista muutamaaan megatavuun (ST Microelectronics 2012) ja muisti on Flash-muistiin verrattuna kallista, sisäinen muisti olisi toteutettava Flash-tekniikalla. Sisäistä Flash-muistia käytettäessä on ongelmana, kuinka siirtää helposti tallennettu data tietokoneelle tai muille toistinlineille. Käyttäjän kannalta yksinkertaisin olisi USB-rajapinta, jonka kautta sisäisen muistin saisi näkymään tietokoneella ulkoisena muistilaitteena, mutta ratkaisu monimutkaistaisi laitteen teknistä toteutusta, mikä oli tavoitteena pitää yksinkertaisena. Lisäksi tällä ratkaisulla datan purkamiseen tarvitaan aina tietokonetta.

Sisäisen muistin sijaan laitteessa päätettiin käyttää muistikorttipaikkaa. Secure Digital (SD) -kortti on yleisesti käytetty lisämuistiratkaisu esimerkiksi kameroissa, musiikkitoistimissa ja matkapuhelimissa. Muistityypin yleisyyden ansiosta SD-kortit ovat edullisia. Muistikortti olisi helppo vaihtaa suurempaan tarvittaessa lisää tallennustilaa, ja sen voisi siirtää äänityslaitteesta tietokoneeseen tai muuhun toistinlineeseen äänitiedostojen siirtoa varten eikä USB-rajapintaa tarvitsisi toteuttaa.

Secure Digital -muistikorttia hallitaan SD-väylän kautta. Muistikorttistandardi sisältää myös tuen vaihtoehtoiselle SPI-väylälle, mikä on yleisesti käytössä mikrokontrollereissa, eikä erillistä SD-väyläohjainta tarvita. Kortin täyttä suorituskykyä ei kuitenkaan SPI-väylällä saada käyttöön. (SD Group 2010, 113.)

SD-korttistandardi laajenee korttien kapasiteettien kasvaessa. Nykyisin standardi määrittelee SD-, SDHC- ja SDXC-kapasiteettiluokat. Luokat ovat alaspäin yhteensopivia, joten SD-luokan korttia voidaan käyttää SDHC-luokan lukijassa. SDHC-kortin kapasiteetti on 2 – 32 GB, mikä riittäisi sovellukseen hyvin. Jo 2 gigatavun kortille voitaisiin tallentaa noin 40 tuntia äänitystä. (SD Group 2010, 3.)

### 3.1.3 Mikrokontrolleri

Kun äänipiiri ja tallennusmuisti oli valittu, valittiin mikrokontrolleri, joka ohjaa laitteen toimintaa. Ohjauksen lisäksi mikrokontrollerilla toteutetaan myös I/O-rajapinta käyttäjälle.

Mikrokontrolleria valittaessa olennaisimmat vaatimukset olivat riittävä I/O-pinnien määrä sekä valmis SPI-väylä. Kontrollerissa oli oltava myös riittävästi suorituskykyä ottamaan äänipiirin tallentama data vastaan ja tallentamaan se SD-kortille. SD-kortti vaatii käyttöjänniteeksi 2,7 V - 3,6 V (SD Group 2010, 3), joten kytkentä on yksinkertaisin toteuttaa, kun myös mikrokontrolleria on mahdollista käyttää samalla käyttöjännitealueella.

Työhön valittiin Atmel ATMega328P, koska se on suunnittelijalle ennestään tuttu, joten suunnitteluprosessissa voidaan käyttää hyväksi ennalta hankittua tietoa. Kontrollerissa on riittävästi muistia FAT32-tiedostosysteemin käsittelyyn (Riegel 2011) sekä riittävästi I/O-pinnejä tallennuskytkimen, indikaattoriledin ja SPI-väylän toteuttamisen lisäksi myös käyttäjän I/O:n mahdolliseen laajentamiseen myöhemmin. Mikrokontrolleri toimii myös tarvittaessa 3,3 V:n käyttöjännitteellä. 8 MHz:n kellotaajuudella suorituskyky riittää tallennetun datan siirtoon äänipiiritä tallennusmuistille. (Atmel 2010b, 1.)

### 3.1.4 Virtalähde

Laite suunniteltiin ottamaan käyttöjännitteensä ulkoisesta 9 V tasajännitelähteestä, mikä on kitaran efektilaitteille lähes standardin asemassa. Pohdittiin myös, voisiko laitteelle toteuttaa valinnaisen jännitelähteen esimerkiksi litiumakulla. Vaihtoehdoisen jänniteliitännän mahdollisuuden lisääminen kytkentään jo alkuvaiheessa vähentää uudelleensuunnittelukierroksia tulevaisuudessa.

VS8053-piiri tarvitsee kolme erillistä käyttöjännitettä. Piirillä on erilliset käyttöjänniteliitännät analogiselle (AVDD) ja digitaaliselle (CVDD) puolelle ja lisäksi IO-rajapinnalle on omansa (IOVDD). Piirille suositellaan CVDD-jännitteeksi 1,75 – 1,85 V ja IOVDD-jännitteeksi 1,8 V – 3,6 V. CVDD-jännitteen lähteenä käyte-

tään 1,8 V:n lineaariregulaattoria. IOVDD:n arvo riippuu piirin kanssa kommunikoivista laitteista. (VLSI 2011b, 10.)

AVDD-jännitteeksi suositellaan 3,3 V - 3,6 V tai 2,5 V – 3,6 V valitun analogisen signaalin referenssitason mukaan. Referenssitasona on mahdollista käyttää 1,25 V tai 1,65 V. Referenssitaso määrää käytännössä suurimman mahdollisen analogijännitetason, joka piirin AD-muuntimen sisääntuloon voi tulla ilman, että signaali säröytyy. Koska piirin analoginen erottelukyky haluttiin pitää mahdollisimman laajana, valittiin referenssitasoksi 1,65 V ja AVDD-jännitteeksi 3,3 V, mikä on kaksi kertaa referenssitason suuruinen. (VLSI 2010b, 10.)

ATMega328P-mikrokontrollerille suositellaan käyttöjännitteeksi 1,8 – 5,5 V (Atmel 2011, 322). SD-muistikortin käyttöjännitteeksi valittiin 3,3 V. Oli siis edullisinta asettaa kaikkien SPI-väylällä kommunikoivien laitteiden käyttöjännitteeksi 3,3 V, jotta jännitemuuntimia ei tarvinnut suunnitella väylälle. ATMega328P-mikrokontrollerin ja VS8053-piirin IOVDD-käyttöjännitteiksi valittiin siis 3,3 V. Valitut käyttöjännitteet sekä datalehdessä ilmoitetut maksimivirrankulutukset on kuvattu taulukossa 1 (VLSI 2010b, 12; Atmel 2011, 318). SD-muistikortin virrankulutus riippuu valmistajasta ja käytetystä tekniikasta. Määrittelyä varten tarkasteltiin Toshiba microSDHC-kortteja (Toshiba 2012).

VS8053-piiriin AVDD- ja CVDD-käyttöjännitteille käytettiin omia regulaattoreitaan ja ATMega328-mikrokontrollerille omaansa, mihin kytkettiin myös SD-kortin käyttöjännite sekä VS8053-piiriin IOVDD. Käyttöjännitteet tuotetaan LDO-regulaattoreilla, jotka mahdollistavat laitteen jatkokehityksen, jos 9 V:n virtalähde halutaan tulevaisuudessa korvata 3,7 V:n litiumakulla. LDO-regulaattoreiden maksimisisääntulojännite on yleensä alhainen, joten 9 V sisääntulojännite reguloidaan LM7805L-regulaattorilla 5V:n  $V_{IN}$ -jännitteeksi ennen LDO-regulaattoreita.

TAULUKKO 1. Piirien käyttöjännitteet

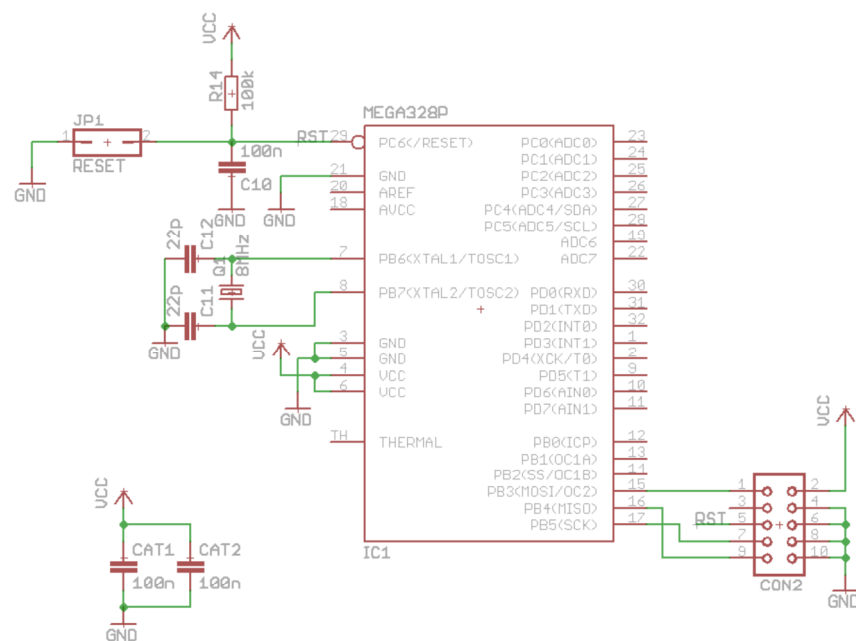
Piiri	Käyttöjännite	Valittu jännite	Virrankulutus
	VIN	5,0 V	
ATMega328	VCC	3,3 V	12 mA
VS8053	CVDD	1,8 V	15 mA
	AVDD	3,3 V	60 mA
	IOVDD	3,3 V	Ei saatavilla
SD-kortti	VCC	3,3 V	80 mA

1,8 ja 3,3 voltin LDO-regulaattoreiksi valittiin AP139-sarjan regulaattorit AP139-18WG-7 ja AP139-33WG-7, joiden maksimiulostulovirta on 300 mA ja tulo- ja lähtöjännitteiden minimierotus (dropout voltage) on 0,28 V 100 mA:n virralla. Suurin sallittu sisääntulojännite on 6V. (Diodes 2009.)

### 3.2 Kytkenät

#### 3.2.1 Mikrokontrollerin minimikytkenät

ATMega328-mikrokontrollerin vaatima peruskytkentä on esitelty kuviossa 7.



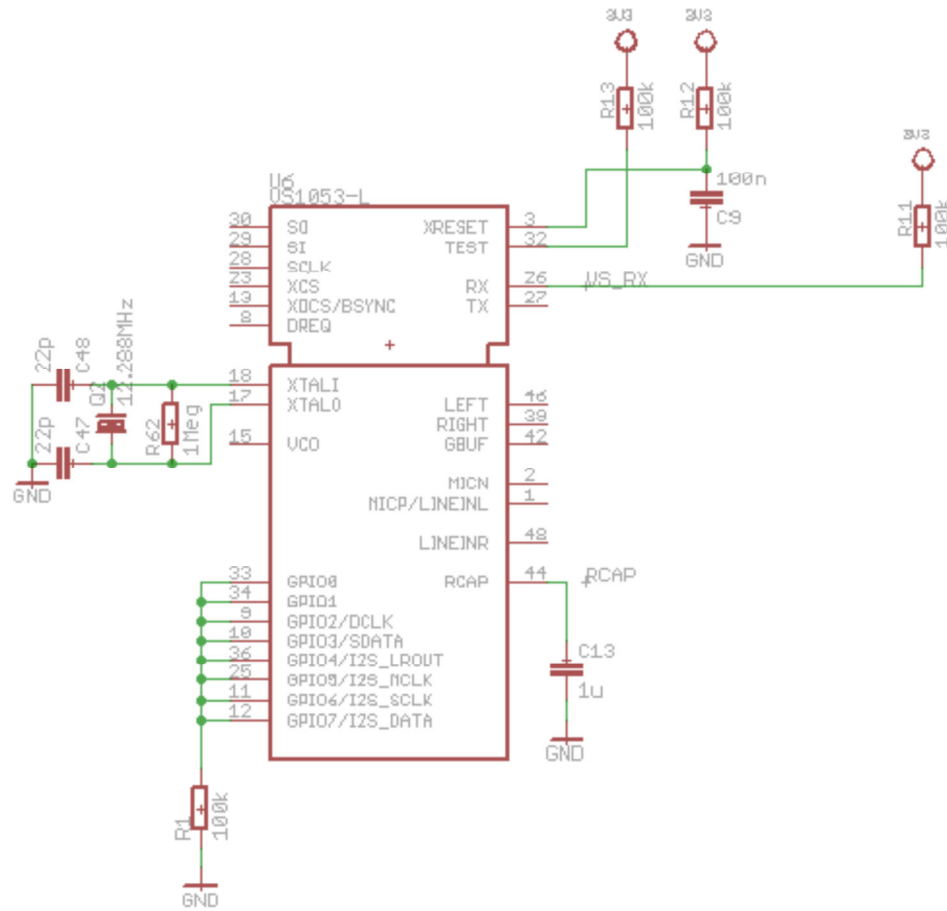
KUVIO 7. ATMega328-mikrokontrollerin minimikytkenät

Kytkenässä mikrokontrolleriin on kytketty ISP-liitin, ulkoinen 8 MHz:n kristalloskillaattori sekä käyttöjännitteet. Molemmille käyttöjänniteliittimille on omat 100 nF:n ohituskondensaattorit, jotka on syytä piirilevyä suunnitellessa sijoittaa mahdollisimman lähelle piirin maaliittimiä. Myös AVCC-pinniin tulee kytkeä käyttöjännite, vaikka piirin AD-muunninta ei käytettäisikään. (ATMEL 2009, 2 - 13; ATMEL 2010, 3 - 4.)

RESET-pinni on kytketty ylösvetovastuksella käyttöjännitteeseen. Kytkentään jätetään kuitenkin optio piirin nollaamiseen kytkemällä piirilevyliitin, johon voidaan tarvittaessa kiinnittää reset-painike testausvaiheessa.

### 3.2.2 VS8053-piirin minimikytkenät

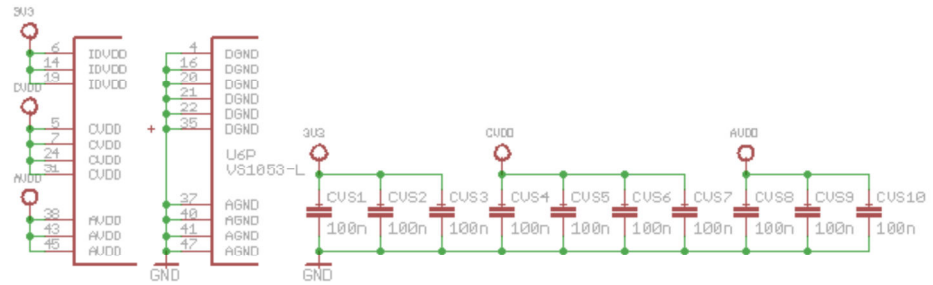
VS8053-piirin vaatimien oheiskomponenttien määrittämisessä käytettiin hyväksi piirin datalehteä ja VS1053 Simple DSP Kit -levyn piirikaaviota. Kytkenä on esitetty kuviossa 8. Piiriin on kytketty suositeltu 12,288 MHz:n oskillaattori. 12,288 MHz:n oskillaattoria suositellaan, koska tätä taajuutta jakamalla saadaan toteutettua tarkimmin 44.1 kHz ja 48 kHz näytteenottotaajuudet AD/DA-muuntimelle. Oskillaattoritaajuutta kertomalla tuotetaan piirin kellotaajuus, jonka tulisi olla mahdollisimman suuri Ogg-enkoodausta varten, mutta korkeintaan 55,3 MHz.



KUVIO 8. VS8053-piirin minimikytkennät

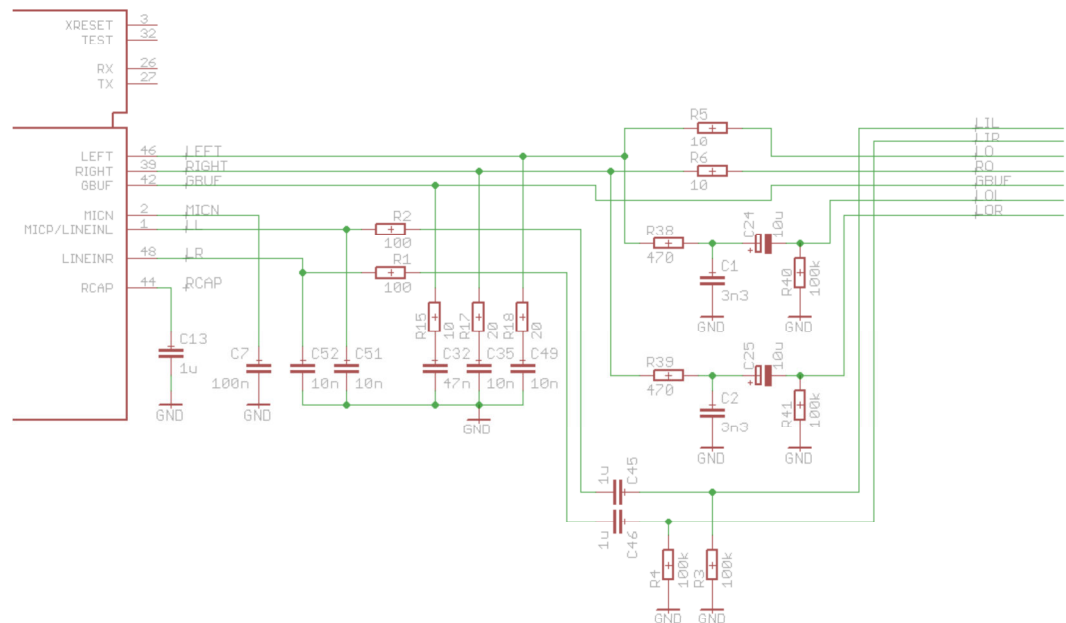
GPIO-pinnit on kytketty maatasoon alavetovastuksen kautta virheellisten tulkin-tojen estämiseksi. GPIO0 tulisi kytkeä ylävetovastuksella käyttöjännitteeseen, jos piirin käynnistyskoodi halutaan lukea SPI-väylään kytketyltä EEPROM-muistilta. Tässä sovelluksessa EEPROM-muistia ei käytetä, vaan mikrokontrolleri antaa piirin käynnistysmäärittelyt. Myös RESET-pinni kytketään mikrokontrollerin hallittavaksi eikä nollaamiseen suunnitella kytkintä. RCAP-pinniin on kytketty sisäisen referenssijännitteen suodatuskondensaattori. (VLSI 2010b, 14 - 17.)

Peruskytkentöjen lisäksi piiri vaatii myös käyttöjännitteet, jotka on esitetty kuviossa 9. Piirille tulevat kolme käyttöjännitettä on kytketty käyttöjännitepinnihin ja jokaiselle käyttöjännitepinnille on oma ohituskondensaattori, joka kytketään mahdollisimman lähelle piiriä. (VLSI 2010b, 16.)



KUVIO 9. VS8053-piirin käyttöjännitekytkennät

VS8053-piiriin kytkettiin seuraavaksi audiosisään- ja ulostulopinnit kuvion 10 mukaisesti. Kytkentä on tehty valmistajan suositusten mukaan. Piiriin on kytketty kaksikanavaiset linjatasoiset sisään- ja ulostuloliittimet sekä kuulokeliitin ja kais-tanpäästösuotimet jokaiselle äänikanavalle. Laitteeseen suunniteltiin pelkkä mo-no-linjasisäänmeno, mutta kytketään muutkin liitännät valmiiksi piirilevyllle, jotta laitteen ominaisuuksia on helppo laajentaa jatkossa. (VLSI 2010b, 16.)

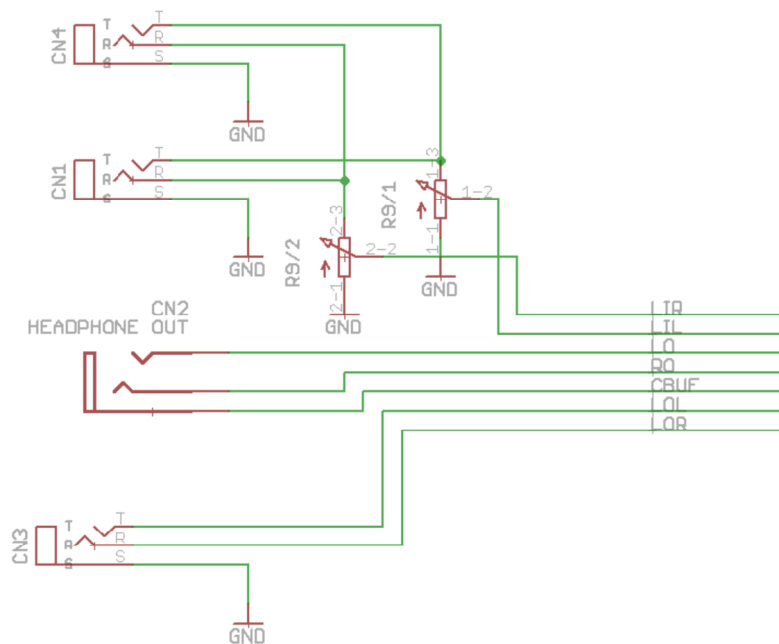


KUVIO 10. VS8053:n suositellut ääniliitännät

Kuulokeliitintä ei kytketä maatasoon, vaan signaalin nollakohtana toimii 1,23 V:n GBUF-jännite. Näin kytkettynä kuulokeliittimille ei tarvita erotuskondensaattoreita. On kuitenkin komponentteja valitessa huomioitava, että kuulokeliittimen täy-

tyy olla eristetty, jottei GBUF-jänniteellä kytketä oikosulkua laitteen metallikotelon kautta. (VLSI 2010b, 17.)

Kaistanpäästösuotimien jälkeen äänisignaalijohtimet voidaan kytkeä suoraan ääniliittimille kuvion 11 mukaisesti. Linjasisäänmenon voimakkuus säädetään stereopotentiometrillä ja sisäänmenoliittimen rinnalle kytkettiin ohitusliitin, jolla sisään-tuleva signaali voidaan jatkaa seuraavalle signaaliketjun laitteelle.

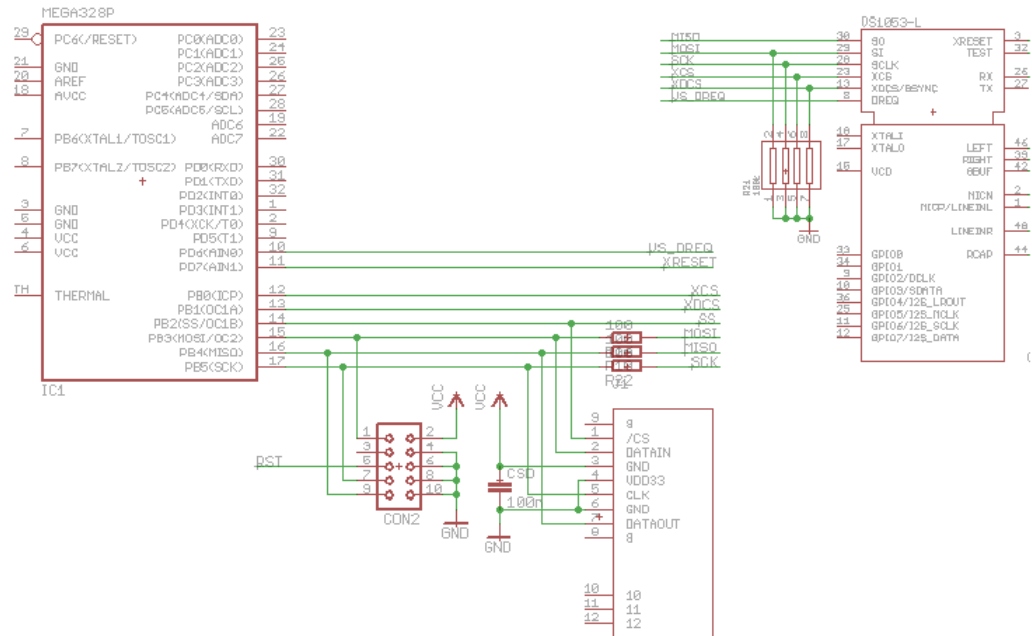


KUVIO 11. Ääniliittimien kytkennät

### 3.2.3 SPI-väylä

Mikrokontrollerin SPI-väylälle kytkettiin SD-kortinlukija sekä VS8053-äänipiirin ohjaus (SCI)- ja dataväylät (SDI) kuvion 12 mukaisesti. SPI-väylälle kytkettiin pienet sarjavastukset. Vastusten tehtävä on suojella ISP-liitintä, etteivät muut väylälle kirjoittavat laitteet kirjoita väylälle mikrokontrollerin ohjelmoinnin aikana.





KUVIO 12. SPI-väylän kytkennät

Jokaiselle SPI-väylän laitteelle kytkettiin oma enable-signaali mikrokontrollerin B-portin ulostuloista. Kohdelaite voidaan näin valita ohjelmallisesti. VS8053-piiriin hallintaa varten kytkettiin myös DREQ- ja XRESET-pinnit mikrokontrollerin portin D pinneihin 6 ja 7. VS8053 asettaa DREQ-pinnin '0'-tasoon, kun se suorittaa käskyä tai databufferi on täysi. Pinni nousee '1':een, kun piiri on valmis ottamaan vastaan dataa tai käskyä SPI-väylällä. Häiriönsiedon takia SPI-väylälle on kytketty alusvetovastukset.

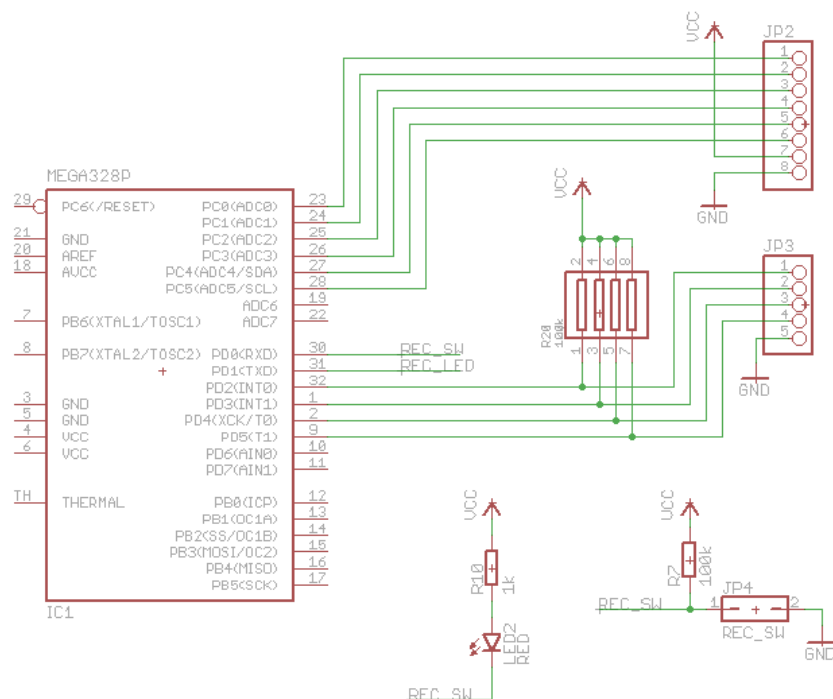
### 3.2.4 I/O-kytkennät

Käyttäjän I/O:ta kytkiessä tarkasteltiin ATmega328-mikrokontrollerin vapaita I/O-pinnejä. Kontrollerin porttikartta ennen I/O-kytkentöjä on esitetty taulukossa 2. Porteissa C ja D on siis vapaana 6 I/O-pinniä. Porttiin B on kytketty SPI-väylä sekä väylän laitteiden enable-pinnit SS0 – SS2.

TAULUKKO 2. Mikrokontrollerin I/O-kartta

	PB	PC	PD
0	SS0		
1	SS1		
2	SS2		
3	MOSI		
4	MISO		
5	SCK		
6	OSC	RST	DREQ
7	OSC	N/A	xRESET

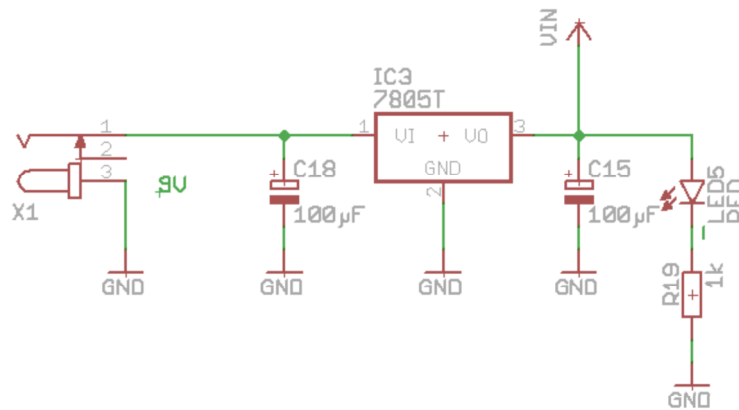
Kartan perusteella suunniteltiin laitteen tallennusjalkakytkin ja tallennuksesta kertova led portin D bitteihin 0 ja 1. Vapaat I/O-pinnit kytkettiin liitinrimoihin niin, että portin C vapaat pinnit voitaisiin kytkeä LCD-näytölle ja portin D pinnit lisäkytkimille, joilla voitaisiin toteuttaa käyttöliittymä. Kytkenät on esitelty kuviossa 13.



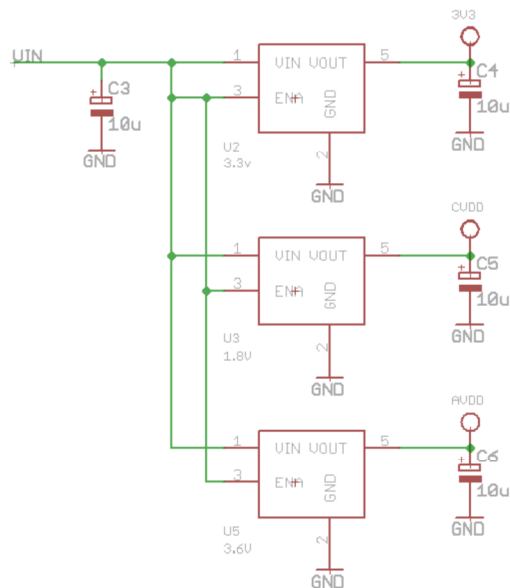
KUVIO 13. Laitteen I/O-kytkennät

### 3.2.5 Virtalähde

Laitteen virtalähde toteutettiin lineaariregulaattoreilla. Jännitelähteenä toimiva 9 V:n virtalähde on reguloitu 5 voltin  $V_{IN}$ -jännitteeksi kuviossa 14 esitetyllä kytkennällä.  $V_{IN}$ -jännitteestä muodostetaan piireille käyttöjännitteet LDO-regulaattoreilla, joiden ulostulojännite on 1,8 V ja 3,3 V. LDO-regulaattoreiden kytkentä on esitetty kuviossa 15.



KUVIO 14. 5V jännitteen tuottava pääregulaattori



KUVIO 15. Piirien käyttöjännitteet tuottavat LDO-regulaattorit

### 3.3 Ohjelmistovaatimukset

Mikrokontrollerin ohjelman tulisi pystyä SD-kortilla käytetyn FAT-tiedostojärjestelmän ja SPI-väylän hallintaan käsittelyfunktioilla. Ohjelman pääfunktiossa tarkastellaan jalkakytkimen tilaa niin, että kytkintä painettaessa alkaa tallennus. Tallennusta aloitettaessa VS8053-piiri otetaan pois reset-tilasta ja piirin rekisterit alustetaan. Alustuksen jälkeen piiri asetetaan tallennustilaan kirjoittamalla Ogg Vorbis -tallenninlaajennos piirin muistiin ja käsketään aloittaa äänen tallennus.

Tallennuksen aikana tallennettu Ogg Vorbis -muotoinen äänidata luetaan taulukoksi mikrokontrollerin sisäiseen muistiin 32 16-bittistä sanaa kerrallaan (VLSI 2010a, 4-19.). Kun data on luettu, se siirretään sisäisestä muistista SD-kortille avattuun tiedostoon ennen uutta lukusykliä. Tallennus lopetetaan jalkakytkimellä, joten sen tilaa on seurattava myös kesken tallennuksen.

#### 3.3.1 Ogg Vorbis -enkooderi

Ogg Vorbis -pakkaus on VS8053-piirissä toteutettu ohjelmistolaajennoksella, mikä kirjoitetaan suoraan piirin ohjelmamuistiin 16-bittinen sana kerrallaan. Ohjelmistolaajennos on saatavilla VLSI:n internetsivuilta zip-tiedostona, missä on ohjetiedosto, malliohjelma tallennuksen mikrokontrolleriohjaukselle sekä itse laajennostiedostot sekä binääri- että tekstimuotoisena tiedostona.

Ogg Vorbis -tallennin muuttaa piirin toiseen toimintatilaan, missä myös rekisterien toiminnat muuttuvat, joten piirin perustoimintoihin palatessa piiri täytyy resetoida (VLSI 2010a, 11). Tässä sovelluksessa piiriä käytetään ainoastaan tallentimena eikä äänentoisto-ominaisuuksia käytetä, joten piiri voidaan pitää jatkuvasti tallennintilassa kirjoittamalla tallenninlaajennos piirille heti laitteen käynnistyessä.

Ennen ogg-tallenninlaajennoksen kirjoittamista on valittava sovellukseen sopiva tallennusprofiili. VLSI tarjoaa viisi erilaista ogg-tallennusprofiilia, jotka eroavat näytteenottotaajuudeltaan. Profiileja on sekä yksi- että kaksikanavaisena. Esimerkiksi puhetta tallentaessa monesti riittää 8 kHz:n näytteenottotaajuus yksikanavaisena, kun taas musiikkitalenteet ovat useimmiten kaksikanavaisia ja niille suosi-

tellaan 44.1 kHz:n näytteenottotaajuutta. Tallennusprofiileita on vertailtu taulukossa 3. Vertailusta huomataan, että suurempi näytteenottotaajuus kasvattaa vaadittua tallennustilaa sekä vaatii nopeampaa siirtotietä enkooderilta muistikortille. Vertailun vuoksi taulukossa on myös samantasoinen WAV-tiedoston vaatima datavirta. (VLSI 2010a, 5.)

TAULUKKO 3. Ogg Vorbis -tallennusprofiilit (VLSI 2010a, 5)

Ogg Vorbis Profiles							
Profile name	File name <sup>1</sup>	SRate Hz	Ch	BRat <sup>2</sup> kbit/s	WAV <sup>3</sup> kbit/s	Time h/GB	Vox+ Pause <sup>4</sup>
Voice	venc08k1qXX.plg	8000	1	15	128	149	Y
Wideband Voice	venc16k1qXX.plg	16000	1	28	256	79	Y
Wideband Stereo Voice	venc16k2qXX.plg	16000	2	49	512	45	N
HiFi Voice	venc44k1qXX.plg	44100	1	87	706	26	Y
Stereo Music	venc44k2qXX.plg	44100	2	135	1411	16	N

Tässä sovelluksessa tallennetaan monoääntä ja äänityksen laatu pyritään pitämään mahdollisimman hyvänä, koska muistitilaa on riittävästi ja SD-korttiin perustuvan muistiratkaisun laajentaminen on tarvittaessa helppoa. Valitaan siis HiFi Voice -profiili, millä taulukon 2 mukaan voidaan tallentaa noin 16 tuntia gigatavua kohden.

Yksikanavaiset tallennusprofiilit tukevat myös VOX- ja Pause-ominaisuuksia (VLSI 2010a, 5). VOX-ominaisuuden avulla voidaan tallennus aloittaa, kun piiri havaitsee äänivirran, jolloin vältetään tyhjä osa tiedoston alusta tallennuksen aloittamisen ja äänen tuottamisen aloittamisen välistä. Pause-ominaisuudella tallennus voidaan keskeyttää tarvittaessa ja jatkaa uudestaan samaan tiedostoon. (VLSI 2010a, 17.) Tässä sovelluksessa näitä ei oteta käyttöön, vaan tallennus aloitetaan heti, kun jalkakytäkintä painetaan, ja lopetetaan, kun jalkakytäkintä painetaan uudestaan.

Tallennusprofiilin jälkeen on valittava pakkaussuhde, johon on vaihtoehtoja 6 tai 11 profiilista riippuen. Valitun HiFi Voice -profiilin pakkaussuhdevaihtoehdot on esitetty taulukossa 4. Asetus 05 on yleisesti suositeltu ja siksi esitetty taulukossa tummennettuna. 00- ja 01-profiilit pakkaavat erittäin suurella pakkaussuhteella ja ne on tarkoitettu käytettäväksi vain silloin, kun tallennustilaa ei olisi muuten riit-

tävästi. Valitaan profiili 5, jonka nimellinen datavirta on 87 kbit/s. (VLSI 2010a, 6 - 7.)

TAULUKKO 4. HiFi Voice -tallennusprofiilin pakkaussuhteet (VLSI 2010a, 7)

HiFi Voice						
<b>Profile number</b>	00	01	02	03	04	<b>05</b>
<b>Typical kbit/s</b>	36	49	59	71	79	<b>87</b>

Kun tallennusprofiili ja pakkaussuhde on valittu, valitaan sitä vastaava Ogg Vorbis -laajennostiedosto. Tässä sovelluksessa oikea laajennos on tekstimuotoisena tiedostossa `venc44k1q05.plg`. Tiedostossa on ohjelmistolaajennoksen lisäksi yksinkertainen C-kielinen mallifunktio, jolla laajennos ladataan piirin muistiin. Ohjelmistolaajennos kopioidaan tiedostosta mikrokontrollerin muistiin vektoriksi ja tehdään silmukka-funktio, joka kirjoittaa sen SPI-väylän kautta piirille VLSI:n malliohjelmaa soveltaen.

Kun ohjelmistolaajennos on kirjoitettu, jotkin piirin rekistereistä saavat normaalia poikkeavan tehtävän. Ogg-laajennoksen käyttämät rekisterit on kuvattu taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Ogg-laajennoksen käyttämät rekisterit (VLSI 2010a, 8)

Register	Bits	Description
SCLMODE	14	Select MIC/LINE1
	12	Set to 1 when told in the instructions
	1	VU meter stereo mode activation
SCLAICTRL0	15:0	Maximum signal level, set to 0
SCLAICTRL1	15:0	Recording gain (1024 = 1×) or 0 for automatic gain control
SCLAICTRL2	15:0	Maximum autogain amplification (1024 = 1×, 65535 = 64×)
SCLAICTRL3	0	W: Finish recording, set to 0
	1	R: Recording finished, set to 0
	2	R: There is at least one byte to read, set to 0
	3	W: Input channel select (only mono profiles), 0 = left, 1 = right
	7:4	W: Max samples in frame = $n \times 4096$ , 0 = no limit
	15:8	R: The next data byte if available, set to 0

Rekisteri `SCI_MODE` sekä neljä `SCI_AICTRL`-rekisteriä on alustettava ennen tallennuksen aloittamista taulukon ohjeiden mukaan. `SCI_MODE`-rekisterin bitillä 14 valitaan sisääntuloksi linjasisääntulo. `SCI_AICTRL0`-rekisteriin tallentuu tallennuksen aikana suurin signaalitaso, mitä voidaan hyödyntää muun muassa ää-

mentasoja seuraavassa VU-mittarissa tai varoitusledissä, mikä kertoo signaalin liian kovasta voimakkuudesta. Rekisteri nollataan ennen tallennuksen aloittamista. Lisäksi piiriltä on estettävä muut kuin SCI-keskeytykset, jotta tallennus ei häiriödy mutta prosessorien välinen kommunikointi toimii.

SCI\_AICTRL1 ja SCI\_AICTRL2 säätelevät tallennuksen äänen voimakkuutta ja niitä voidaan tarvittaessa muokata myös tallennuksen aikana. Tässä sovelluksessa äänen voimakkuus asetetaan rekisterillä SCI\_AICTRL1, koska automaattista äänen voimakkuuden säätöä (AGC, Automatic Gain Control) ei käytetä. Äänen voimakkuus asetetaan tulevan signaalin tasoiseksi kirjoittamalla rekisteriin arvo 1024, ja äänen voimakkuutta säädetään analogisesti potentiometrillä.

SCI\_AICTRL3-rekisterin kautta ohjataan ja seurataan tallennusta. Tallennus lopetetaan kirjoittamalla '1' bittiin 0 ja piiri kuittaa lopetuksen bitillä 1. Bitillä 3 asetetaan oikea tallennuskanava yksikanavaisissa profiileissa. Biteillä 7:4 voidaan asentaa Ogg-kehysten maksiminäytteiden määrä, mutta tästä on hyötyä lähinnä suoratoistojärjestelmässä. Lyhyitä viiveitä vaativissa suoratoistojärjestelmissä voidaan tallennettu data lukea rekisterin biteistä 15:8, kun bitti 2 ilmoittaa, että uutta dataa on saatavilla, mutta koska tässä sovelluksessa viiveellä ei ole merkitystä, toteutetaan lukeminen toisin. (VLSI 2010a, 8.)

Tallennetun datan lukeminen suositellaan toteutettavaksi SCI\_HDAT1- ja SCI\_HDAT0-rekisterien kautta. SCI\_HDAT1-rekisterissä on juokseva numerointi, joka kertoo tallennuspuskurissa siirtoa odottavien 16-bittisten datasanojen lukumäärän. Data luetaan SCI\_HDAT0-rekisteristä.

Kun käyttäjä haluaa lopettaa tallennuksen, asetetaan SCI\_AICTRL3-rekisterin bitti 0 arvoon '1'. Datan lukemista jatketaan, mutta samalla tarkkaillaan SCI\_AICTRL3:n bitin 1 tilaa. Kun bitti on noussut '1':een, VS8053-piiri on lopettanut tallennuksen. Luetaan viimeisetkin datasanat mikrokontrollerille ja luetaan SCI\_AICTRL3-rekisterin arvo kahteen kertaan. Jos bitti 2 on toisella lukukerralla '1', viimeistä tavua ei kirjoiteta Ogg-tiedostoon. (VLSI 2010a, 10 - 11.)

VS8053-piirin DREQ-pinni kertoo prosessorin tilasta. Prosessori on valmiina ottamaan käskyjä vastaan SCI-väylältä ainoastaan silloin, kun DREQ-pinni on '1'.

DREQ-pinnin seuranta onkin toteutettava kiinteäksi osaksi SPI-väylän ajoitusta, jotta prosessorien välinen kommunikointi on luotettavaa.

Kun tallennus on suoritettu, piirille täytyy kirjoittaa Ogg Vorbis -tallennin-laajennos uudestaan ennen uutta tallennusta. Mikrokontrolleri voidaan siis onnistuneen tallennuksen jälkeen ohjelmoida kytkemään piiri reset-tilaan, mistä palataan kun käyttäjä haluaa tallentaa uuden tiedoston. (VLSI 2010a, 11.)



## 4 TESTAUS

Yksinkertaisimmallaankin valmis kytkentä oli liian vaativa käytännössä toteutettavaksi rajallisilla resursseilla. VS8053-äänipiiri on pintaliitospiiri, joka vaatii omat oheiskomponenttinsa, joten pienikokoista laitetta toteuttaessa olisi syytä käyttää vähintään kaksipuoleista piirilevyä ja pintaliitoskomponentteja.

Kytkeä testattiin kiteillä, joissa on prosessorin lisäksi kytketty ainoastaan vaaditut oheiskomponentit, esimerkiksi jänniteregulaattorit ja oskillaattorit, ja muut piirin liitännät on kytketty liitinrimoille. Kytkennästä saatiin siis suunnitellun mukainen kytkemällä kitit koekytkentälevylle, mille sijoitettiin muut komponentit.

VS8053-piirin testaukseen valittiin VLSI:n VS1053 Simple DSP Starter Kit, joka on toteutettu VS1053-piirillä. VS1053 valittiin VS8053:n sijaan, koska se tukee suljettuja MPEG- ja WMA-formaatteja ja on näin monipuolisempi mahdollista jatkokäyttöä ajatellen. Piirit ovat muuten samat, mutta suljettujen formaattien toisto on VS8053:ssa estetty. Kitissä on kytketty kaikki tarvittavat oheiskomponentit, jopa suositellut ääniliittimien suodattimet, jotta piirin toiminnan kokeileminen olisi mahdollisimman yksinkertaista.

ATMega328-mikrokontrollerilla toteutettuja piirilevyjä on useita, mutta useimmissa on liikaa ominaisuuksia projektia ajatellen. Prototyyppeihin etsittiin edullista valmista levyä, jossa olisi kytketty ainoastaan välttämättömät oheiskomponentit ja käyttöjännite olisi 3,3 V. Valittiin Sparkfun-yrityksen valmistama Arduino Pro 328 3.3V/8MHz, jossa on mikrokontrollerin lisäksi ainoastaan 3.3 V jänniteregulaattori, reset-kytkin, oskillaattori sekä ISP-liitin. I/O-liitännät on kytketty selkeästi liitinrimoille. Mikrokontrolleri toimii 8 MHz kellotaajuudella.

### 4.1 Prosessorien toiminnan varmistaminen

Molempien prosessorikittien toiminta testattiin aluksi yksinkertaisilla ohjelmilla, jotta ei jouduta tilanteeseen, missä toimiva ohjelmisto tuomitaan vialliseksi toimimattoman prosessorin takia. Mikrokontrollerin portti B kytkettiin koekytkentälevylle sijoitettuihin ledeihin ja tehtiin Atmel AVR Studio -ohjelmalla yksinkertainen ohjelma, joka muuttaa portin B bittejä 500 millisekunnin välein vilkuttaen

ledejä. Ohjelmointi tehtiin Atmel AVRStudio 4 -ohjelmalla ja USB-väylään kytkettävällä Sparkfun Pocket AVR Programmer -ohjelmointilaitteella. Piiri ja ohjelmointilaite todettiin toimivaksi.

VS1053 Simple DSP Kit -piirin toiminta testattiin VLSI:n VSIDE-ohjelmistolla, jolla piiriä ohjelmoidaan sarjaportin kautta. Piiri saa käyttöjännitteen kitin mukana tulevan VLSI USB UART -sarjaporttiadapterin kautta, mitä käytettiin myös piirin ohjelmointiin, joten lisäksi kytkettiin ainoastaan kuulokeliitin koekytkentälevylle. Kuulokeliittimelle lisättiin ainoastaan äänenvoimakkuuspotentiometri, koska muut ääniliitäntöjen oheiskomponentit on levyllä valmiiksi kytkettynä. Levyllä on lisäksi neljä lediä kytkettynä piirin I/O-porttiin. (Poiksallo 2010a.)

VSIDE-ohjelmistossa on valmiina testiohjelmia, joita hyödynnettiin testauksessa. Näistä kokeiltiin Audible Hello -ohjelmaa, joka syöttää piirin kuulokeulostuloon jatkuvasti äänisignaalia. Piiri todettiin toimivaksi.

#### 4.2 VS8053-piirin ohjaus

Kun molempien piirien perustoiminta oli varmistettu, alettiin testata prosessorien välistä kommunikointia. VLSI:llä on internetissä keskustelualue (<http://www.vsdsp-forum.com/>), jossa yrityksen työntekijät ja piirien käyttäjät voivat keskustella ongelmista ja jakaa suunnitteluvinkkejä. Yrityksen työntekijät lisäävät ajoittain keskustelualueelle malliohjelmia, joita suunnittelijat voivat käyttää omissa sovelluksissaan. Keskustelualueelta löytyi Panu-Kristian Poiksalon generinen ”Audible Hello example for VS1003B + Microcontroller” -esimerkkiohjelma AT89C51ED2/RD2-mikrokontrollerille. Ohjelma alustaa SPI-väylän ja VS10003-piirin rekisterit, minkä jälkeen se alkaa lähettää jatkuvasti SPI-väylän kautta VS1003-äänipiirille MP3-pakattua äänidataa, jonka äänipiiri toistaa kuulokeliitännästä. (Poiksallo 2010b.)

Ohjelmaa muokattiin kytkettyjen piirien mukaiseksi vaihtamalla äänipiirin kello-  
taajuusrekisterin arvo VS1053-piirin mukaiseksi. Tässä ei kuitenkaan onnistuttu, eikä piirejä saatu kommunikoidaan luotettavasti. Todennäköisesti ongelmat olivat ohjelmakoodin sovittamisessa ja väylän ajoituksissa, mutta laitteiden välisen kyt-

kennän toimintaa ei voida ilman testaamista todeta toimivaksi. Ennen laitteen prototyypilevyn tuottamista olisikin toiminta varmistettava lisätestauksella.

### 4.3 SD-kortti

SD-kortti kytkettiin ATmega328-mikrokontrollerin SPI-väylään koekytkentälevylle. Kytkennän toimintaa testattiin GPL-lisensoidulla MMC/SD/SDHC card library -ohjelmalla. GPL (GNU General Public License)-lisenssin mukaan ohjelmaa voi käyttää ja muokata vapaasti, mikäli sovelluksen lähdekoodi julkaistaan samalla lisenssillä (Free Software Foundation 2007).

Ohjelmassa on SD-kortin SPI-käsittelyn ja FAT-tallennusformaatin määrittelevät kirjastot sekä kirjastoja hyödyntävät esimerkkifunktiot, joilla SD-kortin sisältöä muokataan. Pääohjelmassa on käyttäjälle Unix-päätettä muistuttava käyttöliittymä, johon saadaan yhteys sarjaportin kautta. Käyttöliittymän kautta onnistuu muun muassa sd-kortin tiedostolistaus, tiedostojen ja hakemistojen lisääminen ja poistaminen sekä tiedostojen muokkaaminen. Käytössä olevat funktiot on esitelty taulukossa 6. (Riegel 2011.)

TAULUKKO 6. Ohjelman käyttämät komennot (Riegel 2011)

Komento	Toiminnan kuvaus
cat <file>	Tulostaa tiedoston <file> sisällön
cd <dir>	Vaihtaa hakemiston <dir> nykyiseksi hakemistoksi
disk	Tulostaa tietoja muistikortista: Valmistajan, tilan, kapasiteetin ja vapaan tallennustilan
init	Valmisteleo ja avaa muistikortin uudestaan
ls	Listaa nykyisen hakemiston sisällön
mkdir <dir>	Luo hakemiston, jonka nimi on <dir>
mv <file> <new>	Nimeää tiedoston <file> uudelleen nimellä <new>
rm <file>	Poistaa tiedoston <file>
sync	Varmistaa että kaikki data on kirjoitettu kortille tallennuspuskurista, jotta kortti voidaan poistaa turvallisesti
touch <file>	Luo tiedoston <file>
write <file> <offset>	Kirjoittaa tekstiä tiedostoon <file> niin, että ensimmäinen kirjoitettava merkki määritellään numerolla <offset>. Komennon jälkeen teksti luetaan sarjaväylältä rivi kerrallaan ja kirjoitus lopetetaan, kun käyttäjä syöttää tyhjän rivin.

Testaus aloitettiin asettamalla SD-korttiliittimeen SD-muistikortti, jolla oli valmiina yksi tekstimuotoinen esimerkkitiedosto. Tiedostolistaus näytti kortin sisällön onnistuneesti. Luotiin uusi kansio ”test”, jonka sisälle luotiin tiedosto ”testi.txt”. Tiedostoon kirjoitettiin muutama rivi esimerkkitekstiä write-funktiolla. Tiedoston sisältö tarkistettiin cat-komennolla, minkä jälkeen varmistettiin init-komennolla kortin turvallinen irrottaminen ja siirrettiin kortti tietokoneeseen, jolla tarkasteltiin kortin sisältöä. ”Testi.txt”-tekstitiedoston sisältö vastasi luotua, joten kytkentä ja ohjelma todettiin toimivaksi niin, että ohjelmakoodin osia voitaisiin hyödyntää osana laitteen ohjelmaa.

Lyhyessä testauksessa satunnaisesti esiintyvät ohjelmavirheet eivät kuitenkaan paljastu. Valmis laite vaatisi syvällisempää testausta, ennen kuin virheettömästä toiminnasta voidaan olla varmoja.

## 5 YHTEENVETO

Laite olisi tällaisenaan vaatimusten mukainen, kunhan ohjelma saadaan valmiiksi. Avoin Ogg Vorbis –tallennusmuoto ja jalkakytkimellä aktivoitava tallennustila tekisivät laitteesta houkuttelevan vaihtoehdon markkinoilla oleviin laitteisiin verrattuna, jos laitteen jälleenmyyntihinta saataisiin lisäksi paremmin varusteltuja kilpailijoita edullisemmaksi.

Laitetta ei pienessä erässä toteutettuna kuitenkaan saataisi sijoittumaan suunniteltuun 50 - 100 euron hintaluokkaan, koska ohjelmistovaatimukset kasvattavat tuotantokustannuksia ja pelkkien piirien yhteenlasketut kustannukset ovat suuret. Laite sijoittuisikin todennäköisemmin 100 - 150 euron hintaluokkaan, missä kilpailijoiden ominaisuudet ovat jo huomattavasti suunniteltua laitetta monipuolisemmat. Suurempien komponenttien osalta suuntaa antava kustannusarvio on 100 laitteen erälle esitetty taulukossa 7. Laskelmaan tulee lisätä vielä muiden komponenttien, kuten oskillaattoreiden ja passiivikomponenttien kustannukset. Suurempi osa laitteen kustannuksista muodostuisi kuitenkin suunnittelu- ja tuotantokuluista, kuten ohjelmiston toteutuksesta sekä piirilevyn tuotannosta.

TAULUKKO 7. Komponenttikustannusarvio

Komponentti	Kappalehinta/€ (100 kappaleen erässä)	Jälleenmyyjä
VLSI VS8053B	8,00	VLSI
Atmel ATmega328P-AU	4,49	Farnell
Diodes Inc. AP139-18WG-7	0,42	Farnell
Diodes Inc. AP139-33WG-7 (2 kpl)	0,45	Farnell
Fairchild Semiconductor LM7805CT	0,73	Farnell
Multicomp 6.3mm jack, mono (2 kpl)	0,81	Farnell
SPDT (on-on) footswitch - momentary	3,22	Uraltone
Global Connector Technology Memory card connector, SD	2,38	Farnell
Hammond 1590BB	8,47	Mouser Electronics
Yhteensä	30,25	

Laite ei tällaisenaan ole kannattava toteutettavaksi. Jotta laitteen toteuttaminen olisi kannattavaa, se olisi syytä tuottaa suuremmissa erässä, jolloin suunnittelukustannukset voitaisiin jakaa useamman laitteen kesken ja komponentit voitaisiin tilata suuremmissa erissä. Toinen vaihtoehto olisi lisätä laitteen ominaisuuksia vastaamaan muita hintaluokan laitteita.

### 5.1 Parannusehdotukset

Laitteen kytkentä suunniteltiin alusta asti niin, että laitteeseen voidaan helposti lisätä toiminnallisuutta ohjelmistolla. Käyttäjän kannalta tärkein kehitysidea olisi-kin LCD-näyttöön perustuvan valikkojärjestelmän lisääminen. Valikoita ohjattaisiin neljällä painikkeella. Valikkojärjestelmän avulla voitaisiin laitteeseen lisätä paljon ominaisuuksia, kuten esimerkiksi tiedostonhallintajärjestelmä, tallennusasetusten vaihtaminen (taajuuskorjain, näytteenottotaajuus yms.) ja tallennettu-

jen tiedostojen kuunteleminen. Ominaisuuksien lisääminen ei juurikaan lisäisi laitteen kustannuksia muuten kuin ohjelmistosuunnittelun osalta.

Nyt suunnitellun 9 V:n jännitelähteen sijaan voidaan pohtia laitteen käyttöjännitteen tuottamista 3,7 V:n litiumakulla. Akku voidaan kytkeä suoraan  $V_{IN}$  -jännitteeseen. Akkukäyttöisen laitteen olisi kuitenkin syytä huolehtia tarkemmin virransäästöominaisuuksien käytöstä, jotta akkukesto olisi riittävä. Akun lataus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi USB-väylästä BQ24091-latauspiirillä. Tällöin tulisi miettiä myös datasiirtotoiminnon lisäämistä latausliittimeen.

Kytkentään lisättiin myös kuulokeliitin tallennettujen tiedostojen kuuntelemismahdollisuutta varten. Liitintä voi myös käyttää monitoriliittimenä niin, että tallennuksen aikana käyttäjä kuulee tallennetun äänidatan. Optiona on myös linjatasoinen lähtö, minkä voisi kytkeä operaatiovahvistinsekoittimen kautta ohitusliittimeen. Tallennettuja tiedostoja voisi tällöin kuunnella kitaranvahvistimen kautta taustana niin, että käyttäjä voi soittaa tiedoston mukana.

Laitteen kytkentään suunniteltiin stereoliittimet, vaikka valittu Ogg Vorbis-tallennusprofiili tallentaa monoääntä. Valikkojärjestelmän kautta käyttäjä voisi tarvittaessa valita stereoääntä tallentavan profiilin, jolla saataisiin nauhoitettua stereoääntä, tai kahta kitaraa eri kanaville sopivalla liitinadapterilla.

VLSI julkaisi laitteen suunnittelun aikana VS1063-piirin. Piiri on VS1053:n korvaaja, missä on sisäänrakennettuna enkooderit mm. MP3- ja Ogg Vorbis-formaateille. Piirit ovat pinniyhteensopivat, joten piiriä vaihtaessa vain ohjelmisto pitäisi päivittää VS1063:n mukaiseksi. Tulisikin pohtia, olisiko kannattavaa vaihtaa piiri VS1063:een. VS1063-piiristä ei ole lisenssitöntä versiota. (VLSI 2011.)

## 5.2 Kokemukset opinnäytetyöprosessista

Opinnäytetyön aihe oli suunniteltua laajempi yksin toteutettavaksi. Työstä olisikin voinut irrottaa laajan opinnäytetyöaiheen ohjelmoinnin opiskelijalle, jolloin elektroniikan opiskelija olisi keskittynyt tarkemmin laitteen elektroniikkaan ja olisi ollut myös resursseja suunnitella laitteelle piirilevy.

Haastavinta työssä oli se, että työ tehtiin hankkeistamatta ilman työnantajaa. Työn laajuudesta ja tavoitteista piti päättää itse, mikä näkyy työn rakenteessa. Tiiviimpi opinnäytetyön aiheen rajaaminen olisi tehnyt työstä eheämmän kokonaisuuden. Hankkeistamattomuus näkyi myös työn ajankäytön ongelmina.

Työstä sai kuitenkin kattavan yleiskuvan vaatimuksista, jotka digitaalista äänenkäsittelylaitetta toteuttaessa on täytettävä. On tunnettava sekä analogisen että digitaalisen signaalin kulku niin, että äänenlaadun säilyminen voidaan taata koko laitteessa. Laitteen toteuttamiseksi on tutustuttava useaan laajaan standardiin.

Työtä tehdessä sai myös hyvän kuvan yksinkertaisesta moniprosessorijärjestelmästä ja sen vaatimuksista, mihin opiskeluaikana on tutustuttu lähinnä teoriatasolla. Kytkennät SPI-väylän laitteiden kesken ovat yksinkertaiset, mutta ohjelmakoodilla pitää varmistaa laitteiden välisen kommunikoinnin ajastus niin, että kommunikointi on luotettavaa. Kaikki laitteen piirit vaativat myös omat oheiskomponenttinsa, mitkä on tarkastettava valmistajan datalehdessä tai sovellusoppaasta.



## LÄHTEET

Atmel. 2009. Hardware Design Considerations. Sovellusopas.

Atmel. 2011. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P Complete Rev. 8271D. Datalehti. Saatavissa: <http://www.atmel.com/Images/doc8271.pdf>

Coffey, J. 2009. 10 Best Digital Recorders for Guitarists. Premier Guitar 3/2009 [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: [http://www.premierguitar.com/Magazine/Issue/2009/Mar/10\\_Best\\_Digital\\_Recorders\\_for\\_Guitarists.aspx](http://www.premierguitar.com/Magazine/Issue/2009/Mar/10_Best_Digital_Recorders_for_Guitarists.aspx)

Diodes. 2009. AP139. Datalehti. Saatavissa: <http://www.farnell.com/datasheets/608773.pdf>

Free Software Foundation. 2007. GNU General Public License [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

Henriksson, J. 2005. Digitaalinen äänentallennus. Saatavissa: <http://www.tape-online.net/docs/Digitaalinen%20%C3%A4%C3%A4ni.pdf>

Hietala, V. 2003. Sähkökitaran mikitys – yleistä [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://opiskele.com/mute/materiaalit/sahkokitara.shtml>

Jalkanen, N. 2000. Mp3-pakkaus [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://cs.joensuu.fi/~njalkane/mp3-seminaari.htm>

Kester, W. 2005. Which ADC Architecture Is Right for Your Application? Analog Dialogue 39-06.

Koppinen, K. 2009. SGN-4051 Puheenkodeaus. Saatavissa: <http://www.cs.tut.fi/courses/SGN-4051/sgn4050.pdf>

Line6. 2012. Backtrack Specs [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://line6.com/backtrack/specs.html>

Pan, D. 1995. A Tutorial on MPEG/Audio Compression. Saatavissa: <http://www.ee.columbia.edu/~dpwe/e6820/papers/Pan95-mpega.pdf>

Poiksalo, P. 2010a. Audible "Hello" example for VS1003B + Microcontroller. Keskustelufoorumikirjoitus [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://www.vsdsp-forum.com/phpbb/viewtopic.php?f=11&t=65>

Poiksalo, P. 2010b. First Steps with VS1053. Microdim Finland.

Riegel, R. 2011. MMC/SD/SDHC card library [viitattu 15.4.]. Saatavissa: <http://www.roland-riegel.de/sd-reader/>

SD Group. 2010. SD Specifications Part 1: Physical Layer, Simplified Specification. Saatavissa:

[https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified\\_specs/Part\\_1\\_Physical\\_Layer\\_Simplified\\_Specification\\_Ver\\_3.01\\_Final\\_100518.pdf](https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/Part_1_Physical_Layer_Simplified_Specification_Ver_3.01_Final_100518.pdf)

ST Microelectronics. 2012. EEPROM, Serial [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.st.com/internet/mcu/class/1276.jsp>

Tascam. 2012. DP-004 [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa:

<http://tascam.com/product/dp-004/>

Technicolor. 2009. Developers & Manufacturers FAQ [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa: <http://www.mp3licensing.com/help/developers.html>

Toshiba. 2012. microSD & microSDHC Cards [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa:

[http://www.toshiba-memory.com/en/micro\\_sd\\_cards.html](http://www.toshiba-memory.com/en/micro_sd_cards.html)

VLSI. 2010a. VS1053b Ogg Vorbis Encoder. Julkinen dokumentti.

VLSI. 2010b. VS1053b – Ogg Vorbis/MP3/AAC/WMA/FLAC/MIDI Audio Codec Circuit. Datalehti.

VLSI. 2011. VS1053 to VS1063 Migration Guide. Sovellusopas. Saatavissa:

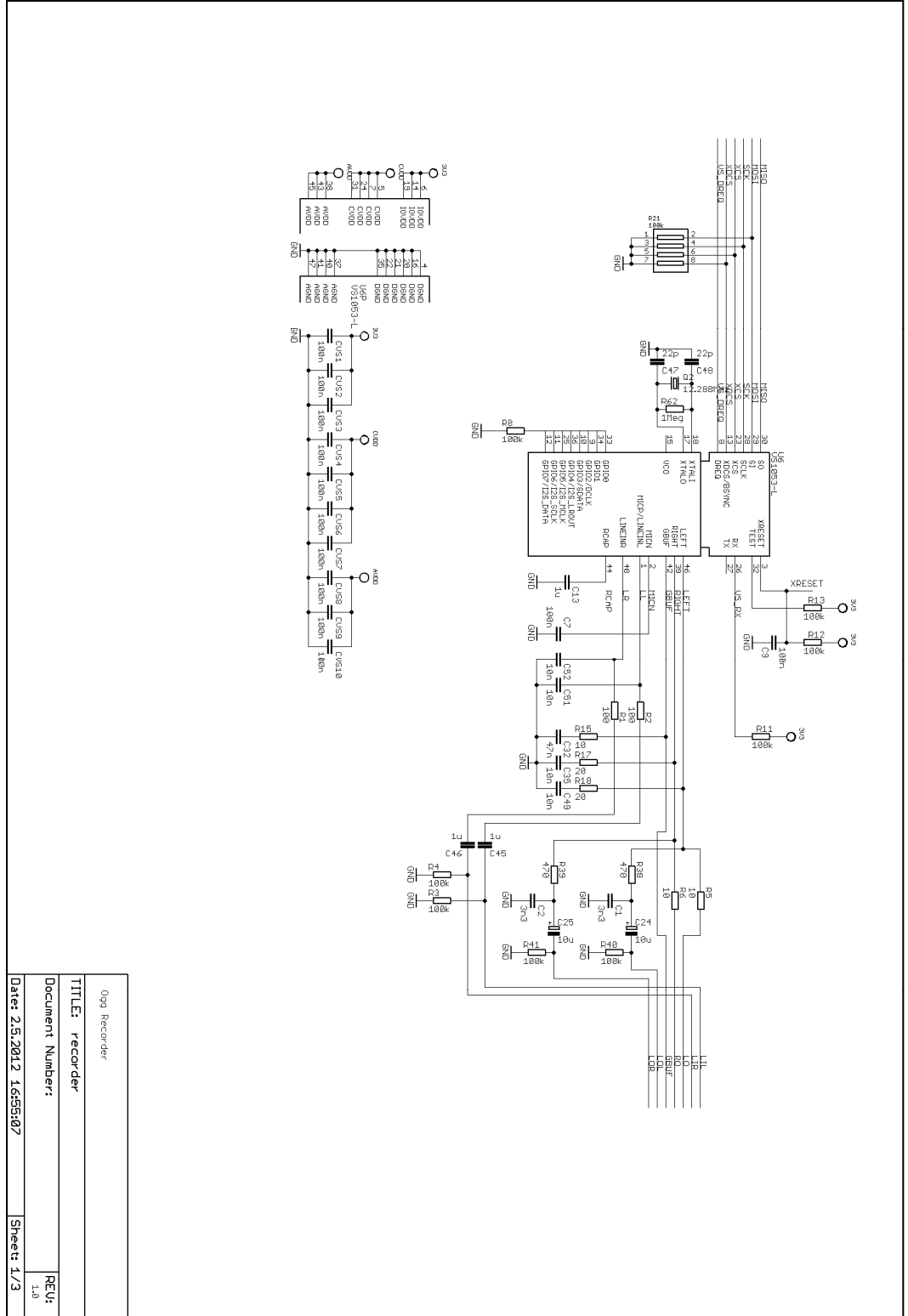
[http://www.vlsi.fi/fileadmin/app\\_notes/vlsi/migrate53to63.pdf](http://www.vlsi.fi/fileadmin/app_notes/vlsi/migrate53to63.pdf)

Xiph.org. 2003. Ogg Vorbis FAQ [viitattu 15.4.2012]. Saatavissa:

<http://vorbis.com/faq/>

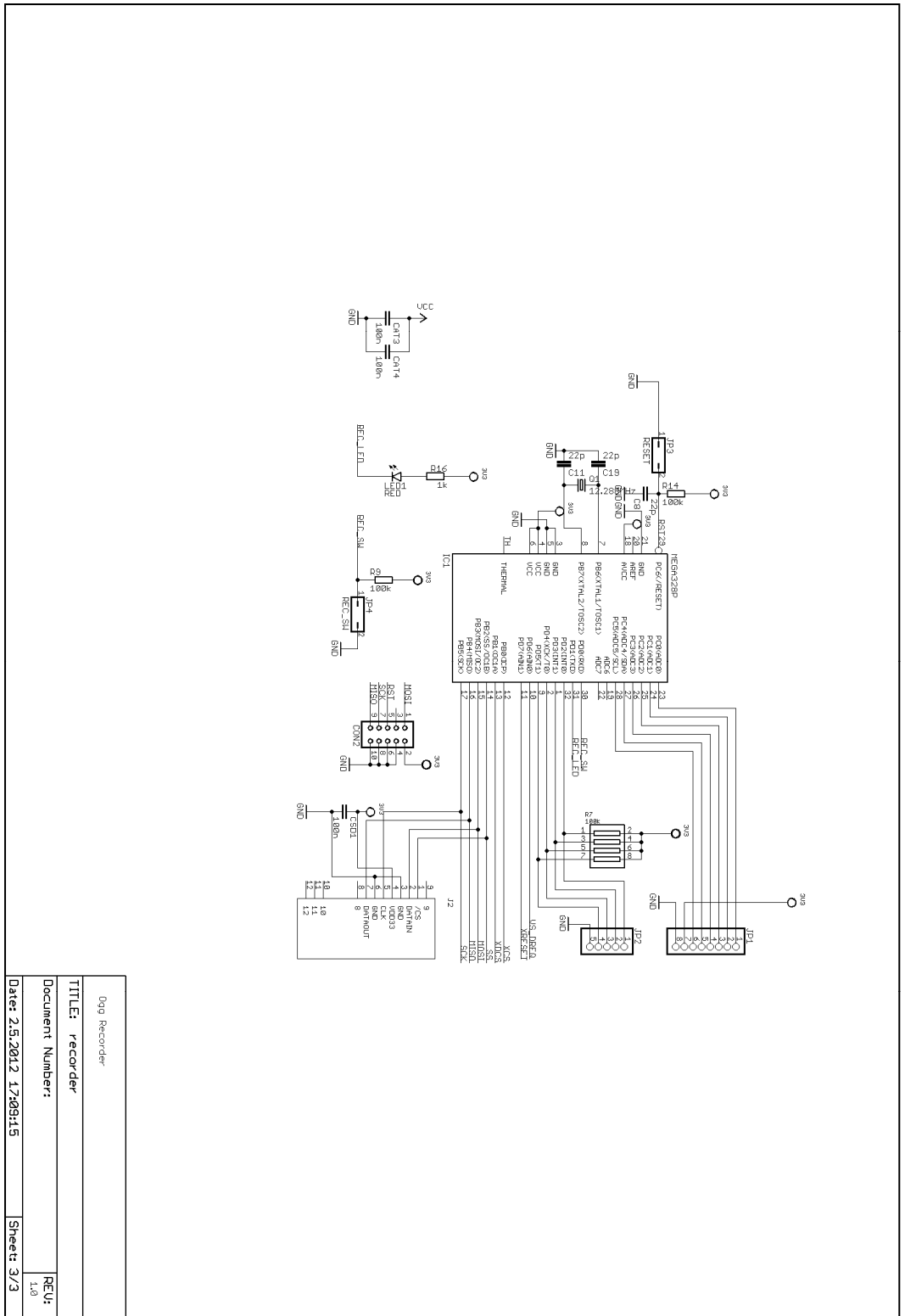
# LIITTEET

## LIITE 1. VS8053-piirin kytkennät

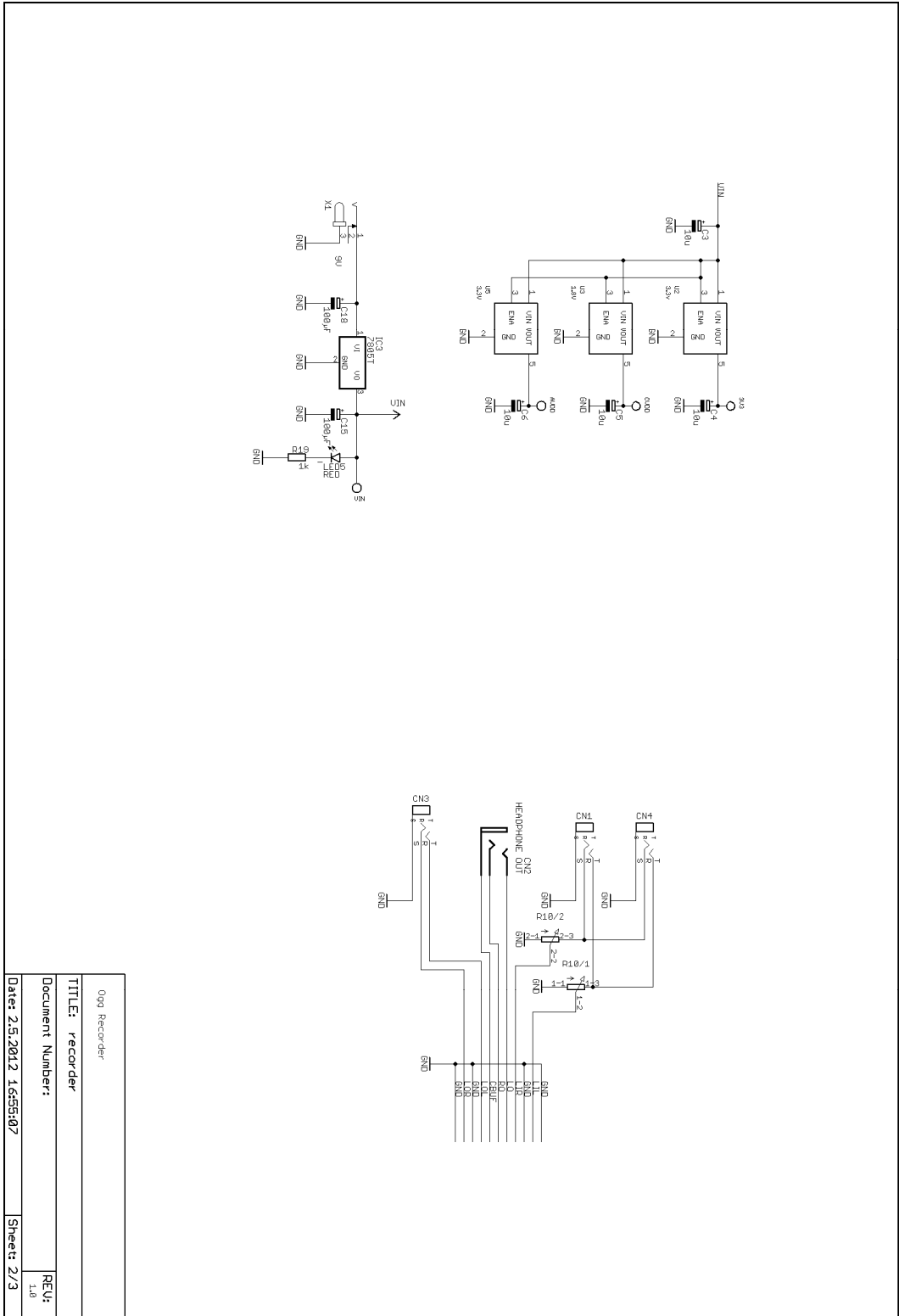


Ogg Recorder	
TITLE:	recorder
Document Number:	
Date:	2:5:2012 16:55:07
REF:	1.0
Sheet:	1/3

## LIITE 2. ATmega328-piirin kytkennät



### LIITE 3. Käyttöjännitteet ja audioliitännät



099 Recorder	
TITLE:	recorder
Document Number:	1.0
Date:	2.5.2012 16:55:07
Sheet:	2/3