



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Infotehnoloogia teaduskond
Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut

MP3 mängija professionaalseks kasutamiseks

Magistritöö

IEE70LT

Nimi: Juho Polukainen

Juhendaja: Argo Kasemaa

Kaasjuhendaja Thomas Tasuja

Tallinn 2014

Olen lõputöö kirjutanud iseseisvalt. Kõigile töös kasutatud teiste autorite töödele, põhimõtteliste seisukohtadele ning muudest allikatest pärinevatele andmetele on viidatud.

Autor: Juho Polukainen

Kuupäev: 12.06.2014

Allkiri:

Annotatsioon

Selle lõputöö raames koostatakse skeem ning trükkplaadi joonis MP3 mängija prototüübile THE Systems OÜ jaoks, mida oleks võimalik ka tööstuslikult toota. Mängija põhineb mikrokontrolleril ja koodekil, mis suudab MP3 formaadis helifaile dekodeerida. Samuti on lisatud väikesevõimsuseline võimendi. Esmalt tuuakse välja MP3 mängija projekteerimine idee tasandil, millele järgneb kirjeldus MP3 mängija töötamise põhimõtetest ning disaini analüüsist detailsemalt. Seejärel tuuakse välja kasutatav skeem ning skeemitehnilised arvutused. Tuuakse välja ka tarkvara disain. Järgnevalt on koostatud skeemile trükkplaadi disain, milles on võetud arvesse spetsiifilisemaid nõudmiseid samalaadsete disainide jaoks, ettekirjutatud piiranguid trükkplaadi kujule ja mõõtmetele ning trükkplaadi tootja sätestatud piiranguid. Sellele järgneb kirjeldus tarkvara ja riistvara testimisest ning sellele kaasnenum mõningatest mõõtmistest ning prototüüpimise käigus tekkinud vajalikest muudatustest, mida on vajalik arvestada seeriatootmiseks kõlbulikus lõppversioonis. Viimasena järgneb majanduslik ülevaade, kus on välja toodud kõik skeemi koostisosad, tööstusliku tootmise kulud ning kulud tagamaks toote kaubandusliku välimuse.

Abstract

In the course of this thesis a schematic and pcb layout design will be constructed for the prototype of an industrially manufacturable MP3 player for THE Systems LLC. The player is based on an MCU and a MP3 codec. In addition a low power output amplifier is also present. Firstly an idea level design will be presented, followed by a description of the working principles of the MP3 player and an analysis of the design. Next a structured schematic will be presented supported by necessary calculations after which a software design will be presented. Following chapter presents the full pcb layout design where taken into account are some specific requirements for similar designs, restriction for the shape and size of the pcb that were known beforehand and also the restrictions set by the pcb manufacturer. This is followed by a description of software and hardware testing, various measurements and necessary changes in the design as a result of prototyping errors. Finally an economical review will be presented detailing every single part of the design and manufacturing process.

Sisukord

Sissejuhatus	11
1. Analoogsed MP3 mängijad teistelt tootjatelt	13
2. MP3 mängija projekteerimine.....	14
2.1. Disaini metodoloogiad.....	14
2.2. Parima inseneripraktika järgimine	15
2.2.1. Probleemide ennetamine.....	15
2.2.2. Deterministlik disain.....	15
2.3. Ideede süstemaatiline organiseerimine	16
3. Analüütiline ülevaade.....	17
3.1. Seadme plokkskeem.....	17
3.2. Mikrokontroller	20
3.2.1. Valiku parameetrid	21
3.3. Koodek.....	23
3.4. D-klassi võimendi.....	24
4. Skemaatiline ülevaade	25
4.1. Nõuded riistvarale	25
4.2. Toitelülitus.....	26
4.3. Sisendid ja väljundid	27
4.4. Mikrokontroller	30
4.4.1. Mikrokontrolleri väljaviikude kasutus	31
4.5. Koodek.....	33
4.6. D-klassi võimendi.....	34
5. Skeemitehnilised arvutused	36
5.1. Voolutarve	36
5.2. Mikrokontrolleri väljaviikude koormatavus	37
5.3. Toitelülitus.....	37

5.4.	Sisendite lülitus- ja sobitusaste	38
6.	Tarkvara projekteerimine.....	39
6.1.	Tarkvara plokkskeem.....	39
6.2.	Tarkvara funktsionaalsuse kirjeldus	40
6.2.1.	Programmeerimiskeele valik	41
6.2.2.	Programmeerimisstandard.....	41
6.2.3.	Koodi versioonihaldus	41
6.2.4.	Arhitektuuri valik	41
6.3.	SD kaardiga suhtlemine.....	42
6.4.	Mikrokontrolleri programmeerimine	42
6.5.	Tarkvaraversioonide ajalugu	43
7.	Trükkplaadi disain.....	44
7.1.	Nõuded trükiplaadi disainile	44
7.2.	Disain	46
7.3.	Riistvara muutuste ajalugu	50
7.4.	Paneliseerimine	51
8.	Testimine	52
8.1.	Tarkvara testimine.....	52
8.2.	Riistvara testimine	53
8.2.1.	Toitepinge miinimumi test	53
8.2.2.	Toitepinge maksimumi test.....	54
8.2.3.	Skeemi volutarbe test	54
8.2.4.	Sisendsignaali amplituudvahemiku test.....	55
8.2.5.	Nupulevajutuse test	55
8.2.6.	Samaaegne mitmele nupule vajutuse test.....	56
8.2.7.	Väljundite koormuse test	56
8.2.8.	Sisendpesade koormustest	57

8.2.9.	Heliväljundi test.....	57
9.	Majanduslik ülevaade.....	58
9.1.	Komponentide nimekiri.....	58
9.1.1.	Integraalskeemid.....	58
9.1.2.	Dioodid ja transistorid.....	58
9.1.3.	Pesad ja lülitid.....	59
9.1.4.	Kondensaatorid.....	59
9.1.5.	Ferriidid ja kristallid.....	59
9.1.6.	Takistid.....	60
9.1.7.	Teise taseme komponendid.....	60
10.	Majanduslik hinnang.....	61
	Tulevikuvision.....	63
	Kokkuvõte.....	64
	Summary.....	65
	Kasutatud allikad.....	66
	Lisa 1. FRDPARRC tabel.....	67
	Lisa 2. Täielik MP3 mängija skeem.....	69

Jooniste loetelu

Joonis 3.1.1. MP3 mängija plokk skeem.....	17
Joonis 3.2.1. Mikrokontrolleri ATXmega16A4 plokk skeem.....	20
Joonis 3.3.1. Koodeki plokk skeem.....	23
Joonis 3.4.1. D-klassi võimendi elektriline põhimõtteskeem.....	24
Joonis 4.2.1. Toitelülituse skeem	26
Joonis 4.3.1. Takisti-stabilitron ahelad	27
Joonis 4.3.2. Juhtnuppude skeem	28
Joonis 4.3.3. Väljundlülituse skeem	29
Joonis 4.4.1. Mikrokontrolleri väljaviikude skeem	30
Joonis 4.5.1. Koodeki väljaviikude skeem	33
Joonis 4.6.1. D-klassi võimendi skeem	34
Joonis 5.4.1. Takisti-stabilitron üks ahel.....	38
Joonis 6.1.1. Tarkvara plokk skeem.....	39
Joonis 7.2.1. MP3 mängija trükkplaadi ülemine vasekiht	48
Joonis 7.2.2. MP3 mängija trükkplaadi alumine vasekiht	48
Joonis 7.2.3. MP3 mängija trükkplaadi siiditrükk.....	48
Joonis 7.2.4. MP3 mängija trükkplaadi ülemine jootemask.....	49
Joonis 7.2.5. MP3 mängija trükkplaadi alumine jootemask.....	49
Joonis 7.4.1. Paneliseerimise skeem	51

Tabelite loetelu

Tabel 4.1.1. Seadme elektrilised põhiparameetrid	25
Tabel 4.4.1. Mikrokontrolleri sisendite ja väljundite kasutus (riistvara/tarkvara liidese kirjeldus)	31
Tabel 5.1.1. Seadme üldine voolutarve	36
Tabel 5.2.1. ATXmega16 maksimaalsed voolutugevused	37
Tabel 6.5.1. Tarkvaraversioonide ajalugu	43
Tabel 7.1.1. Trükkplaadi disaini tootjapoolsed võimalused	44
Tabel 7.3.1. Riistvaraversioonide ajalugu.....	50

Lühendite loetelu

LCD	Vedelkristall ekraan	Liquid Crystal Display
LED	Valgusdiod	Light Emitting Diode
FRDPARRC	Talituslikud Nõuded, Disaini Parameetrid, Analüüs, Viited, Riskid ja Vastumeetmed	Functional Requirements, Design Parameters, Analysis, References, Risks and Counter-measures
MCU	Mikrokontroller	Microcontroller Unit
MOSFET	Metall-oksiid väljatransistor	Metal oxide-semiconductor field-effect transistor
PSU	Toiteplokk	Power Supply Unit
FAT	Failijaotustabel	File Allocation Table
Flash	Välkmälu	
EEPROM	Elektriliselt ümberprogrammeeritav püsिमälu	Electronically Erasable Programmable Read Only Memory
PDI	Programmeerimise ja silumise liides	Programming and Debugging Interface
JTAG		Joint Test Action Group
ADC	Analoog-digitaalmuundur	Analog-to-Digital Converter
DAC	Digitaal-analoogmuundur	Digital-to-Analog Converter
UART	Universaalne asünkroontransiiver	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI	Järjestikliides	Serial Peripheral Interface
DSP	Digitaalne signaalitöötlus	Digital Signal Processing
PWM	Impulss-laius modulatsioon	Pulse-Width Modulation
EMC	Elektromagnetiline vastavus	Electromagnetic Compatibility
CE	Euroopa majandusalas müüdavatele teatud toodetele nõutav märgistus	Conformité Européenne
CAD	Raalprojekteerimine	Computer Aided Design
USB	Universaalne järjestikliides	Universal Serial Bus
PCB	Trükkplaat	Printed Circuit Board
SMA	Pindmontaaž	Surface-Mount Assembly
BOM	Materjalide/komponentide nimekiri	Bill of Materials

Sissejuhatus

Tänapäeval on helitehnika väga kaugele jõudnud. Igas mobiiltelefonis ja nutiseadmes on sees võimalused helifailide mängimiseks, olgu see siis ükskõik millist failivormingut toetav (MIDI, MP3, AAC, FLAC, WMA, WAV jne.). Turul on väga palju lihtkasutajale mõeldud helimängijaid, millel enamustel on uhke graafiline kasutajaliides ning tugiprogrammide kasutamise võimalus seadmes leiduvate helifailide organiseerimiseks. Need on kommertstooted, mis ei sobi professionaalsetesse rakendustesse või sobiksid, kui neid tunduvalt ümber ehitada. See aga pole esiteks ei professionaalne ega taga ka seadme kvaliteetset toimimist.

Kindlates rakendustes (muuseumi eksponaadid, tööstuslikud ja ka munitsipaalsed häire/teavitussüsteemid) on vaja palju lihtsamat ning samas palju keerulisemat seadet. Lihtsat oma olemuse poolest, sest enamikes professionaalsetes rakendustes ei lähe tarvis mitte mingisugust graafilist liidest, isegi tavalist teksti kuvavat LCD ekraanigi, kuna seade pannakse tööle ühes kindlas režiimis iga rakenduse jaoks eraldi. Keerulist aga võimaluste poolest, kus seade toetab eri tüüpi sisendeid, mingisugust funktsionaalset väljundit nt. LED valgustite juhtimiseks ja sisseehitatud võimsusvõimendit. Kõige selle juures peab seade olema ka tavakasutajale lihtne seadistada. Tavakasutaja all mõistetakse inimest (nt. muuseumitöötaja, tehnik), kes pole konkreetset seadet välja töötanud, kuid kes vajadusel saaks iseseisvalt seadme tööpõhimõttest aru ning suudaks vahetada helifaile, seadistada helitugevust jne. ilma tootjapoolsete abijõududeta.

Käesoleva töö eesmärgiks oligi seega disainida selline helimängija, mis suudab reageerida suvalise sisendi peale, väljastada seejuures heli kas kõrvaklappidest või läbi sisseehitatud võimendi ka kõlaritest ning omaks võimalust, kus lisaks heli mängimisele aktiveeruks koos sisendiga ka mingi väljund välise seadme töölepanekuks. Helifaili formaadiks valiti MP3 selle laialdase leviku ning kerge kättesaadavuse poolest. Ühtlasi on väga palju tasuta tarkvara, mis suudab salvestada heli MP3 formaadis.

Esmalt püstitati järgnevad küsimused:

- Millega seadet juhtida?
- Kuidas ja kas lahendada sisemine võimendi?
- Kas sellise süsteemi disainimisel on riistvaralisi erinõudeid?
- Kuidas on lahendatud mäluelement?
- Millised võivad olla sisendsignaali parameetrid?
- Kas on vaja ka väljundeid väliste seadmete jaoks?

Algselt oli plaanis disainida seade, mis sobiks mikrotootmiseks – nii kümnekond seadet aastas, kuna suuremaks tootmiseks puudus otsene vajadus. Tehti ka trükkplaadi disain ning esimene tellimus sai ka täidetud. Seejärel muutusid THE Systems OÜ väljavaated ja otsustati lasta peaaegu igat toodet disainida ka võimalusega seda masinladuda.

Sarnased seadmed ei ole turul kuigivõrd levinud, neid küll leidub võrgupoodides ning neid saab tarnida otse tootjalt, kuid nende hinnad on liiga kallid ning nõuavad seadistamiseks, töölepanekuks ja hoolduseks eriteadmisi, seega on nad tavakasutajale liiga keerulised. Vaja oli toodet, mis on kvaliteetne, mitmekülgne, piisavalt robustne, kuid kergesti kasutatav. Samuti oldi üpriski hinnakriitilised, sest nagu ka majanduslikust hinnangust hiljem näha, on ühe seadme omahind tunduvalt madalam kui sarnane seade teiselt tootjalt sisse osta. Seetõttu otsustas THE Systems OÜ selle toote ise disainida ning omatoodete rivistusse asetada. Kuigi THE Systems OÜ poolt tulevikus pakutava MP3 mängija müügihind suure tõenäosusega ei erine hetkel turul olevate toodete müügihinnast annab see kohalikul turul ikkagi eelise, ettevõtte enda rakendusteks on seadme omahind palju odavam kui samalaadne ostutoode ning kui seadet on palju lihtsam kasutada kui lähimatel konkurentidel, annab see ka rahvusvahelisel turul mõningase eelise.

Arenduses järgiti parima inseneripraktika põhiprintsiipe ning ideede süstemaatilist organiseerimist, kirjeldamist ja analüüsi.

1. Analoogsed MP3 mängijad teistelt tootjatelt

Analoogseid MP3 või mõnda muud helifaili taaseistavaid mängijaid maailmaturul väga palju ei leia, kui ei tea mida täpselt otsida. Neid liigub küll eBay's, AliBabas ning muudes sarnastes müügiportaalides mitmeid ning nende hulgast leiab erineva kvaliteedistmega seadmeid. Mida kvaliteetsem või mitmekülgsem, seda kallim on seadme hind. Leidub ka odavamaid seadmeid, valdavalt Hiina päritolu nimetuid MP3 mängijaid, kuid neisse tuleks suhtuda mõningate reservatsioonidega. Professionaalseks kasutuseks mõeldud seadmete miinus on selles, et kuna seade pole mõeldud tavakasutajale, pole nad ka sedavõrd populaarsed, et neid suvalise interneti otsingu kaudu ilma vaevata üles leiaks.

Kuid Itaalia ettevõttelt INOUT Communication Systems on saada seade nimega Dinplayer. Tema nimetus tuleneb sellest, et kõik sisendid ja väljundid kasutavad lihtsat Din liistu kuhu vajalikud sisend- ja väljundseadmed külge saab ühendada. Tegemist on märkimisväärselt hea tootega, mis toetab erinevaid automaatikaseadmeid ning mõeldud on ta kasutamiseks professionaalsetes rakendustes: kinodes, muuseumides, tööstushoonetes, messidel jne. Lihtne sisend aktiveerib väliselt mälu helifaili ning paneb selle mängima sisseprogrameeritud käitumismustri järgi: näiteks ühe- või mitmekordne esitus, pidev kordus jne. Sisenditeks võivad olla erinevad sensorid, lihtne taimer või lüliti. Seadet on võimalik ka kaugjuhtida. Analoogne seade samalt tootjalt on ka Panelplayer mis erineb lihtsalt korpuse disainilt, mida on kerge nt. seinale kinnitada[1]. Selle seadme miinuseks on aga ülim keerukus helifailide ning seadme töömustrite seadistamisel, mille jaoks peab lisaks kindlale helifaili nimetusele olema välisel andmekandjal ka tekstifail, kuhu tuleb seadmespetsiifilises skriptikeeles kõik seadme tööks vajalik ära seadistada. Tavakasutajale, kes igapäevaselt nende seadmetega ei tegele, käib sellise seadme hooldamine üle jõu.

Välimuselt ning funktsionaalsuse poolest nii Dinplayeri kui ka Panelplayeri sarnaseid seadmeid, võiks öelda ka üks-ühele lahenduse, toodab ka teine Itaalia ettevõtte nimega Matrex. Isegi seadme nimetamise poolest pole nad originaalsemad olnud.[2]

Kirjeldatud seadmete ülesehitus on väga sarnane selles lõputöös esitatava seadmega, kuid Dinplayer ning ka Panelplayer on vahest üledimensioneeritud (LCD ekraan, kaugjuhtimine, digitaalne väljund) mõningate rakenduste jaoks (muuseumieksponaadid, kioskid), lisaks oma ilmsele keerukusele. Ühtlasi on nad hinna poolest kallid. Matrex pakub oma vastavate toodete hinnaks 220€ - 250€[3]. INOUT Communication Systems poolt pakutavate sarnaste seadmete hind jääb 300€ piiresse.

2. MP3 mängija projekteerimine

Selles peatükis tuuakse välja erinevad projekteerimise meetodid, mis kehtivad igale disainitavale seadmele ning pakutakse meetod ideede süstemaatiliseks organiseerimiseks ja meetod kogu riistvara disainiks.

2.1. Disaini metodoloogiad

Esmalt tekkis küsimus: kuidas disainida MP3 mängijat üldiselt? Standardiseeritud juhust selle kohta leida ei õnnestunud ning variante on reaalsuses mitu, võttes aluseks põhimõttelt sarnased seadmed. Seega arvestades ettevõtte hetkelist pädevust, tehti erinevaid uuringuid ning töötati läbi suures mahus andmelehti leidmaks valiku erinevatest süsteemidest, mikrokiipidest, moodulitest, mis ühtiksid ülesande valdkonna ja projekti olemusega. Vaadeldi sarnaseid disaine ning neid analüüsid tekkisid mõningad variandid kuidas disainiprotsessi jätkata. Näiteks kas kasutada vaid välist mälu või kombinatsiooni sisemisest flash mälust ja välistest mäluelemendist? Kas disainida MP3 koodek juba riistvarasse või integreerida seadmele ostutootena tarnitav MP3 moodul? Millist mikrokontrollerit kõige juhtimiseks kasutada? Kas lähtuda kasutatavast programmeerimiskeelest või kindla mikrokontrolleri võimalustest? Kas saaks kasutada juba varem välja töötatud tarkvara lõike ning riistvaralisi lahendusi, mis on teada töötavad variandid? Kuidas neid maksimaalselt ära kasutades võita disainile kuluvas ajas? Kas lisada seadmele sisemine võimendi? Kuidas lahendada sisendid ja väljundid selliselt, et leida tasakaal kasutatava trükkplaadi pindala, sisend- ja väljundpesade arvu, kasutusmugavuse ning robustsuse vahel? Kõike seda pidi arvesse võtma juba eos enne reaalse riistvara disaini tegemist, tuginedes juba väljakujunenud praktikatele, ettevõttes kasutatavatele ressurssidele ning kogemusele ja arvestades juba kindlate raamidega nagu näiteks kindlad trükiplaadi mõõtmed, komponentide kättesaadavus, odav tootmine jne.

2.2. Parima inseneripraktika järgimine

Toon välja kaks meetodit, mis on esimesed asjad mida THE Systems OÜ kõikidele oma inseneridele õpetab ning hiljem disainiprotsessis nõuab, olgu selleks tark- või riistvara. Nendeks on probleemide ennetamine ja deterministlik disain[4].

2.2.1. Probleemide ennetamine

Võimalike probleemide ennetamine on inseneripraktikas kõige odavam ja tõhusam viis neid lahendada. Tähelepanu tuleb pöörata järgnevatele, kõige sagemini esinevatele murekohtadele (just nende kõrvaldamine disaini realiseerimise järgselt on kõige kulukam)[4]:

- Mittevastavus kliendi nõuetele
 - Tuvasta seadme funktsionaalsed nõuded.
 - Koosta sellest lähtuvalt disainiparameetrid iga funktsionaalse nõude jaoks.
- Seade läheb rikki
 - Disain peab tagama vastupidavuse sisemistele ja välimistele koormustele
- Tõrked seadme töös
 - Disain peab olema piisavalt robustne lubamaks teatud vigu või piisavalt tark, et neid vigu kõrvaldada.
- Kõrge hind
 - Disain peab olema odavalt toodetav ning vähenõudlik, kuid nutikas.

2.2.2. Deterministlik disain

See on üks inseneripraktika alustalasid. Keerulisi probleeme on võimalik lahendada mõistlike ja loogiliste meetoditega, lubades samas loomingulisust ja innovaativsust ideede rakendamisel ja probleemide lahendamisel. Katsed ja arendused on väga tähtsad ning nende teostamisel saadud tulemustele tuleb suuremat tähelepanu pöörata. Samas tuleb disainitavaale süsteemile läheneda mänguliselt[4], sest just sedasi tekivad kõige huvitavamad ideed ning neist juba reaalsed innovaativsed süsteemid.

Järgnevalt on välja toodud mõned huvitavamad ja kasulikud deterministliku disaini põhitõed:[4]

- Ära raiska palju aega ja raha pisiasjadele, kui on põhilisi, suuri asju mida arendada/parandada.
- Ära ole tagasihoidlik kasutamaks ära kogu jõudlust, mida on võimalik saada sama raha eest.
- Ära kuluta palju oma energiat, aega ja raha kui tulemiks on vaid väikene tõus jõudluses.

- Aeg on relatiivne, kuid seegi saab kiirelt otsa, kui sa tähtaegadest kinni pidada ei suuda.
- Sinu ideede väärtus kahaneb eksponentsiaalselt iga tähtaega ületava päevaga.

2.3. Ideede süstemaatiline organiseerimine

Ideede süstemaatiliseks organiseerimiseks on väga kasulik kasutada Massachusetts Institute of Technology's (MIT) töötava dr. Alexander Slocum'i poolt välja töötatud ja inseneripraktikas omaks võetud FRDPARRC tabelit[4] (FRDPARRC – vt. Lühendite loetelu). Tabel on toodud lisas 1.

Tabelikirjete seletused

Talituslikes nõuetes on toodud ära funktsioonid, mida kavandatav seade on disainitud täitma.[4]

Disaini parameetrites on kirjeldatud igale talituslikule nõudele vastavaid lahendusmeetodeid. Välja valitud meetod on jämeda trükiga tõstetud esile.[4]

Analüüsis on vastavalt igale disaini parameetrile tehtud lühianalüüs, arvestades muu hulgas järgnevaid parameetreid: tark- ja riistvara keerukus, aja- ja hinnakulu, häirete ja vigade võimalus riist- ja tarkvaras. Samuti võib analüüsist tuleneda täiendavaid disainiparameetreid.[4]

Viidetes on ära toodud kõik analüüsi abistavad allikad ning taustainfo, samuti arendusele abiks olevad kontaktid, ajaloolised dokumendid jne.[4]

Riskides kirjeldatakse võimalikke arenduses esineda võivaid riske, keskendudes igale disaini parameetrile eraldi. Igale riskile on antud ka selle tõsidusaste: madal, keskmine või kõrge risk.[4]

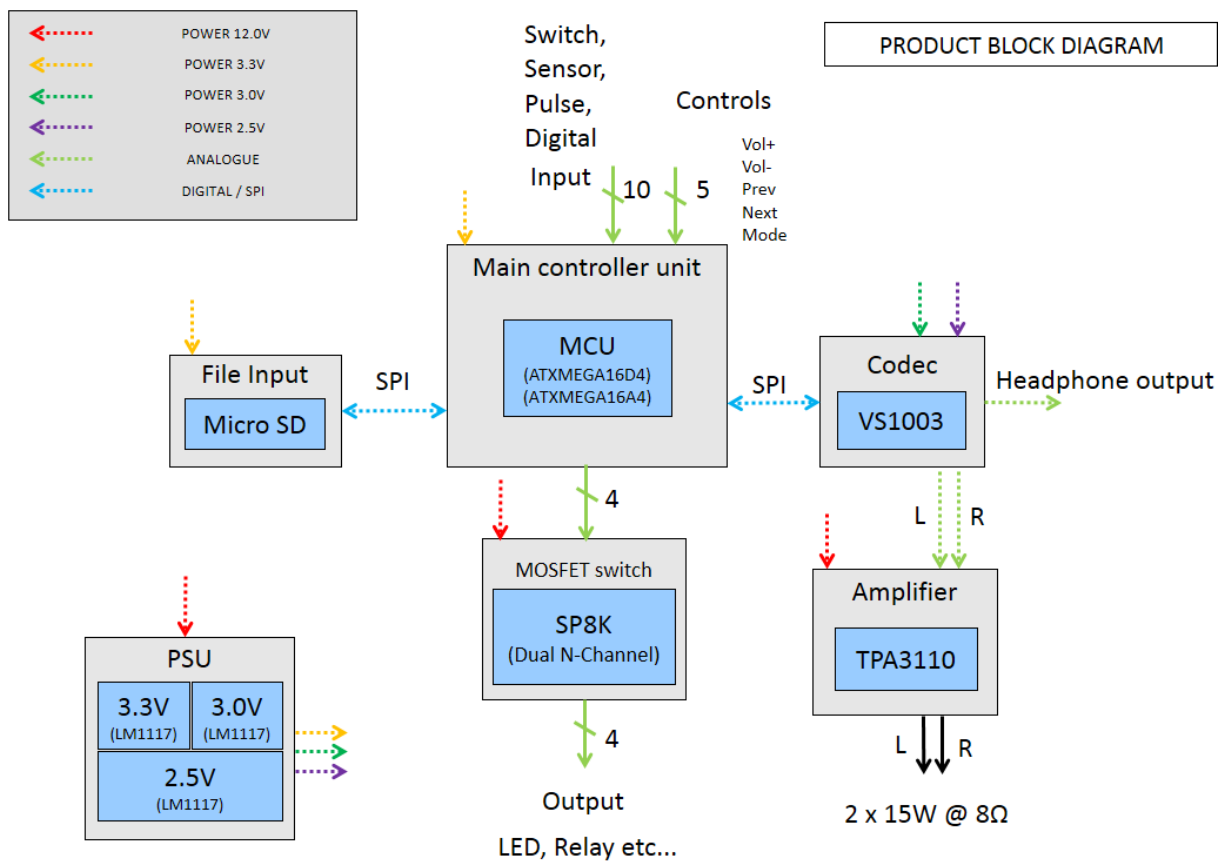
Vastumeetmetes kirjeldatakse riskide vähendamise võimalusi ning nende lahendusi, keskendudes igale riskile eraldi.[4]

3. Analüütiline ülevaade

Eelnevas peatükis toodi välja meetodid MP3 mängija projekteerimiseks. Selles peatükis vaadeldakse disainitavat seadet tema funktsionaalsete plokkide lõikes ning analüüsitakse seadme tööpõhimõtteid. Samuti kirjeldatakse loodava süsteemi riistvarale püstitatud nõudeid.

3.1. Seadme plokk skeem

MP3 mängija plokk skeemil on ära toodud kõik temasse kuuluvad funktsionaalsed üksused. Plokk skeem annab aimu kõikidest antud seadme tööks vajalikest suhetest.



Joonis 3.1.1. MP3 mängija plokk skeem

Kõige aluseks on toide ning selle saab seade väliselt 12V adaptriilt, kuid ka 12V aku pealt on võimalik seadet tööle panna, mis tähendab, et seda saab edukalt kasutada ka autodes. Kuna toidet vajavad nii mikrokontroller kui ka kodek, siis nende jaoks kasutatakse pingeregulaatoreid, saamaks vajalikud toitepinged. D-klassi võimendi kasutab reguleerimata toidet otse seadme toitesisendist.

Seadme süda on mikrokontroller, mis juhib kõiki sisendeid ja väljundeid ning samuti mängib ta põhirolli andmete ülekandmisel SD kaardilt koodekisse. Selle jaoks on mikrokontrolleri tarkvarast suur osa kõige lihtsam operatsioonisüsteem (hinnanguliselt >90%), mis kasutab ära FAT failisüsteemi.

Koodek on selles rakenduses nn. rumal seade, mida kasutatakse just nii nagu ta tootjalt tarnitakse. Teda ei programmeerita, kuigi see on võimalik, kui tekib vajadus mingisuguseks helitöötluseks. See aga suurendaks riistvara mahtu. Koodekil endal on maksimaalselt 30Ω koormatav stereo kõrvaklapiväljund, seega saab seda seadet kasutada ka kõrvaklappide või välise võimendiga.

Kõrvaklapiväljundist paralleelselt läheb helisignaal edasi D-klassi võimendisse. Selle võimendi väljund 12V toite juures lubab $2 \times 10.55W$ võimsust 8Ω koormuse juures, seega saab sellele seadmele külge ühendada keskmise suurusega kõlari. Enamustes rakendustes on sellisest paindlikuses rohkem kui küll, vaid siis, kui vaja läheb suuremat helivõimsust, tuleb kasutada välist võimendit.

Seadmel on 10 sisendit, mille külge saab panna lüliti, milleks võib olla nii mehhaaniline lüliti, herkon, infrapuna sensor, mikrolaine andur või mõni muu seadmega ühilduv sensor. Sisendid võivad olla nii madal- kui ka kõrgaktiivsed. Iga sisend aktiveerib mingi kindla helifaili SD kaardilt. Seega tavarakendustes on maksimaalseks heliklippide arvaks SD kaardil 10 faili. Erirakendustes võib aga nende arv olla suurem, see eeldab aga teist tarkvara versiooni. Näiteks on sisendiks pingepulssi tekitav seade või lülitus (nt analoogtelefoni ketas). Mikrokontroller tuvastab need impulsid ning tarkvaraliselt on iga võimaliku impulsside kombinatsiooniga vastavusse viidud kindel helifail SD kaardil. Samuti on võimalik kõikide sisendite puhul sisse lugeda kahendkoodi, mis vastab mingile kindlale helifailile SD kaardil. Viimasel juhul on maksimaalne helifailide arv $2^{10} = 1024$. Võimalusi on seega mitmeid. Samas see seade on tavakasutuses mõeldudki mängima vaid paari helifaili, mistõttu pole mõtet ka tervet süsteemi keerulisemaks disainida kui vaja.

MP3 mängijal on ka 5 juhtnuppu. Nendeks on helisüsteemide puhul poolkohustuslikud helivaljususe suurendamine ja vähendamine. Loovaliku nupud suudavad mängida SD kaardil eelnevat või järgnevat lugu, kuigi need on pigem mõeldud seadme testimiseks, kui tal ühtegi sisendit pole külge ühendatud, teadmaks kas SD kaardil on vajalikud helifailid olemas või tuvastamaks mingeid üldise seadme testimise järgselt esilekerkivaid probleeme konkreetses rakenduses.

Viimase juhtnupuga on MP3 mängijat võimalik tööle panna neljas erinevas režiimis:

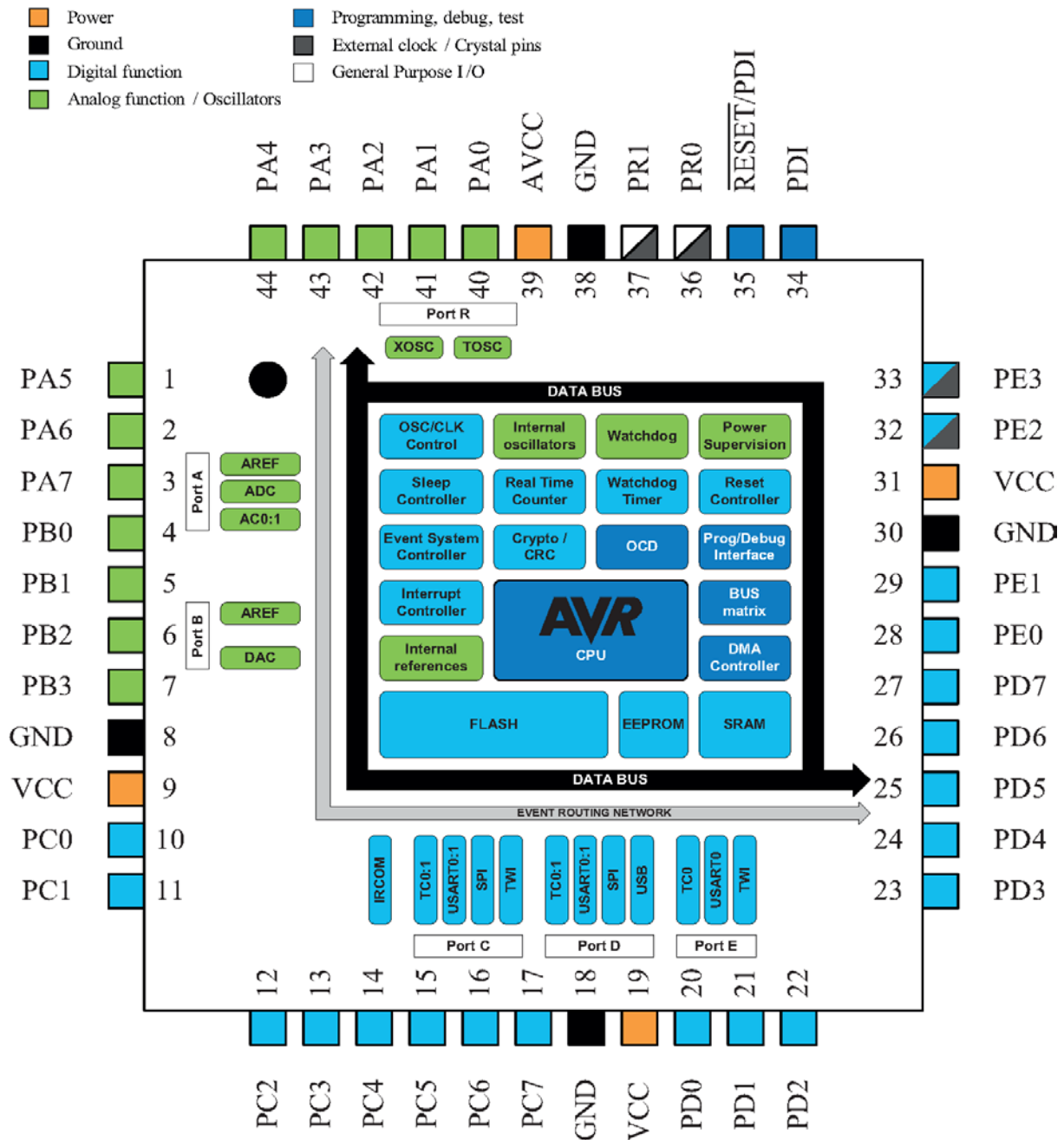
- Mingi sisendi aktiveerimisel hakkab mängima temale vastav helifail. Kuni see helifail pole lõppenud, ignoreeritakse kõiki sellel ajal aktiveeritavaid sisendeid ja lastakse helifailil lõpuni mängida. Selle režiimi valikut kinnitab indikaator LED'i vilkumine ühe korra.
- Mingi sisendi aktiveerimisel hakkab mängima temale vastav helifail. Nüüd uuesti mingi sisendi aktiveerimisel, juhul kui eelnev helifail pole veel lõppenud, see katkestatakse ning hakatakse mängima uuele sisendile vastavat helifaili. Selle režiimi valikut kinnitab indikaator LED'i vilkumine kaks korda.
- Suvalise sisendi aktiveerumisel hakkab mängima kõige esimene helifail, järgneva suvalise sisendi aktiveerimisel, juhul kui eelnev helifail on mänginud lõpuni, hakkab mängima järjekorras järgmine helifail SD kaardil jne. Selle režiimi valikut kinnitab indikaator LED'i vilkumine kolm korda.
- Mingi sisendi aktiveerimisel hakkab mängima temale vastav helifail, mis jääb ennast kordama kuni sisend deaktiveeritakse. Selle režiimi valikut kinnitab indikaator LED'i vilkumine neli korda.

Juhtnupul on ka veel üks funktsioon. Teda all hoides kolme sekundi jooksul, vahetatakse sisendi lugemine madalaktiivselt režiimilt kõrgaktiivse režiimi vastu ning ka vastupidi. Indikaator LED annab vastava märke, vilkudes viis korda madalaktiivse režiimi korral ning jäädes kolmeks sekundiks põlema kõrgaktiivse režiimi korral.

Seadmel on ka 4 väljundit, kuhu külge saab ühendada seadme enda toitepingel, konkreetsel juhul 12V, töötavaid seadmeid, mis aktiveeritakse läbi MOSFET lüliti vastava sisendi aktiveerimisel. Seega vaid sisendid 1-4 aktiveerivad ka väljundid 1-4, mis püsivad aktiivsed kuni helifail mängib. Nendes väljundeisse on põhiliselt mõeldud 12V toitel töötavaid LED või muid valgusteid, kuid väljunditeks võivad olla ka mingid muud 12V pealt töötavad seadmed, näiteks releed 230V seadmete lülitamiseks. Releede asemel võib loomulikult kasutada ka sümistore või türistore.

3.2. Mikrokontroller

Mikrokontroller on süsteemi põhikomponent, mis jälgib sisendeid ja juhib väljundeid ning viib läbi vajalikud arvutusoperatsioonid. Kuna tegemist on reaalajasüsteemiga, peab tema jõudlus olema piisav, et rahuldada tabelis 4.4.1 esitatud tingimusi. Mikrokontrolleri plokskeem on esitatud joonisel 3.2.1.



Joonis 3.2.1. Mikrokontrolleri ATXmega16A4 plokskeem [5]

3.2.1. Valiku parameetrid

Kuna THE Systems OÜ's on pikaajaline pädevus Atmeli mikrokontrolleritega ja eksisteerisid nii riistvaralised kui tarkvaralised arendusvahendid ja programmaator, samuti oli selle tootja mikrokontrollereid kasutatud ka varasemates disainides ning oli välja töötatud programmeerimisstandard, siis valik tuli teha pigem süsteemi vajadustest ning konkreetse mikrokontrolleri hinnast lähtuvalt. ATXmega seerias on erinevate sisendite/väljundite arvu ning mälumahuga mikrokontrollereid. Kuna antud disainis vajalike sisendite/väljundite arv on võrdlemisi suur (lõpprealisatsioonis on kasutusel 33 sisend/väljund viiku) siis otstarbekam oli eelistada ATXmega D4 või A4 seeriat. See on TQFP korpuses 44 väljaviiguga mikrokontroller. Temast nii sisendite/väljundite arvult kui ka mõõtmetelt järgmine on juba 64 väljaviiguga ATXmega A3, B3 ja D3 seeria, mille kasutamine ei omaks mingeid eeliseid, eeskätt trükiplaadi mõõtmetele seatud piirangute tõttu, kuna füüsiliselt sai sisend- ja väljundpesade poolt kasutatav ala maksimaalselt ära kasutatud ning ATXmega D4 puhul sai ära kasutatud kõik peale ühe väljaviigu, seega edasine üledimensioneerimine jätkaks 1/3 väljaviikudest kasutamata ning nagu mainitud ei ole ruumipuuduse tõttu võimalik seadmele ka lisafunktsioone paigaldada, milleks pole ka põhjust.

Arvestada tuli nii EEPROM kui Flash mälu mahtu. EEPROM mälu kasutatakse seadme konfiguratsiooniparameetrite ja kalibreerimiskonstantide salvestamiseks, et neid ei peaks kasutaja toitekatkestuse järel uuesti sisestama. ATXmega16A4 ja D4 sisaldab 1 kilobait EEPROM mälu ja 16 kilobaiti programmimälu.

Nagu mainitud, on antud mikrokontroller selles töös disainitava seadme süda. Tema toitepinge on 3.3V ning teda programmeeritakse Atmeli enda liidesega – PDI, mis vajab vaid kahte väljaviiku (lisaks ka toidet). Nendeks on Clock (PDI_CLK, plokk skeemil $\overline{\text{RESET}}/\text{PDI}$) ja Data (PDI_DATA, plokk skeemil PDI)[6]. Programmeerimiseks kasutatakse keskkonda AVR Studio 6.2 ning arvutiga saab seadme ühendada kasutades tööriista nimega AVR Dragon[6], mis toetab teiste Atmeli poolt toetatavate protokollide hulgas ka PDI'd. Mikrokontrollerit saab muidugi programmeerida ka muude protokollidega nagu JTAG kuid trükiplaadil võtab kõige vähem ruumi PDI, samuti programmeerimise kiirus on PDI'l märkimisväärselt suurem kui JTAG'il.

Mitme riistvaraversiooni muutusega käis kaasas ka uue mikrokontrolleri valik. (vt tabel 7.3.1: „Riistvaraversioonide ajalugu“). Põhjus: ATXmega16D4 võeti tootmisest ootamatult maha. Sellega täielikult asendatav on aga ATXmega16A4, mis ei erine oluliselt millegi poolest peale palju kõrgema

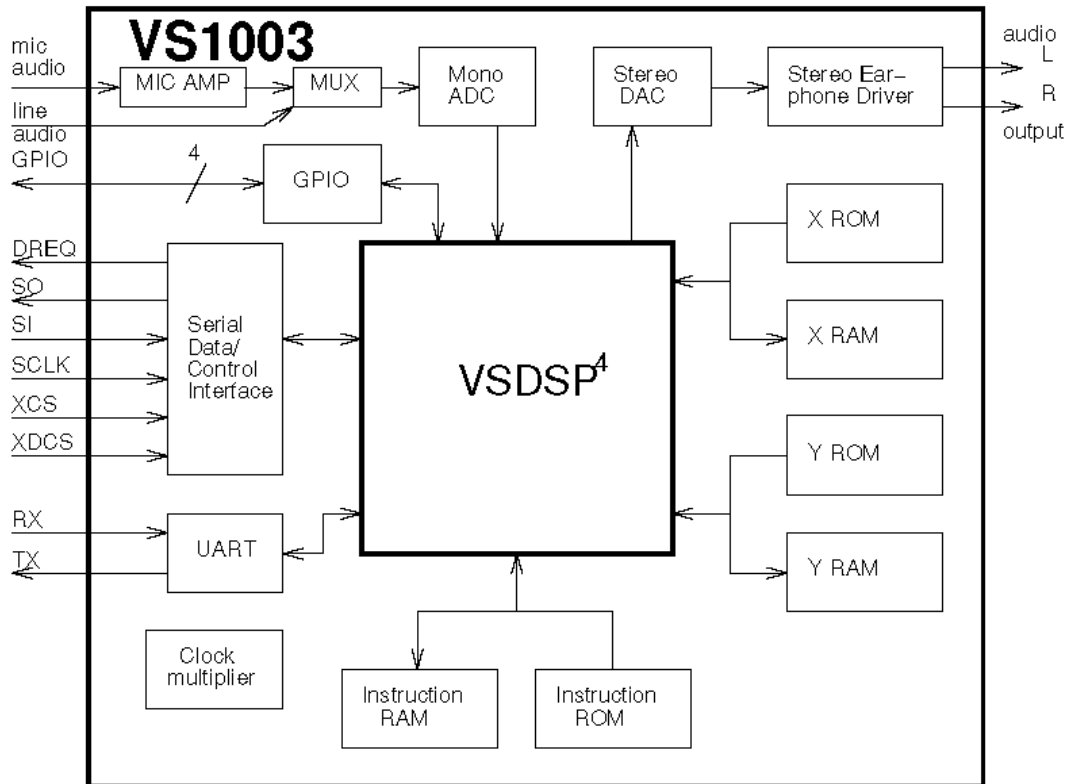
hinna, mõningate lisafunktsioonide ning mõningate sisendite laiendatud võimaluste poolest. Kõiki sisendeid saab kasutada tavalülitusteks, kuid vaid mõningatel sisenditel on ADC/DAC, UART, SPI tugi.

Antud MP3 mängija on disainitud aga sedasi, et kui vaja siis saab hetkel kasutatava ATXmegaA4 asemel kasutada ka D4 seeriat. Seega sobivad praegu kasutatava mikrokontrolleri asenduseks ATXmega D4 ja A4 kõikide mäluahutudega seadmed ning nende derivaadid mis on järellitega -U. Järellitega -AU olevad mikrokontrollerid aga pole kahjuks ühilduvad kuna nende väljaviikudel olevad võimalused kattuvad vaid osaliselt ning antud disainile nad kasutatava mikrokontrolleri asenduseks ei sobi ilma peaaegu täieliku tarkvaralise ümberdisainimiseta.

Hetkel piisab 16 kilobaidist programmimälust ideaalselt, seega on suurema mälumahuga mikrokontrollereid otstarbekas kasutada vaid odavamal hinda silmas pidades. Samuti peab igale erinevale mikrokontrolleri versioonile just talle vastava tarkvara koostama, kuigi kui ühe tüübi jaoks juba on tarkvara koostatud, siis teise mikrokontrolleri jaoks piisab vaid sama koodi uuesti kompileerimiseks konkreetsele mudelile, mis realselt võtab vaid sekundeid olenevalt tarkvara mahust, see aga eeldab kasutatavate mikrokontrollerite üks-ühele asendatavust. Kuigi eri tüüpi omavahel täielikult ühilduvate mikrokontrollerite kasutamine pole väga probleemne, esitab see siiski juurde ebavajalikku keerukust, kuna tarkvaraversioonide haldamine võtab rohkem aega ning seda tuleks pigem vältida.

3.3. Koodek

Joonisel 3.3.1 on ära toodud koodeki plokk skeem.



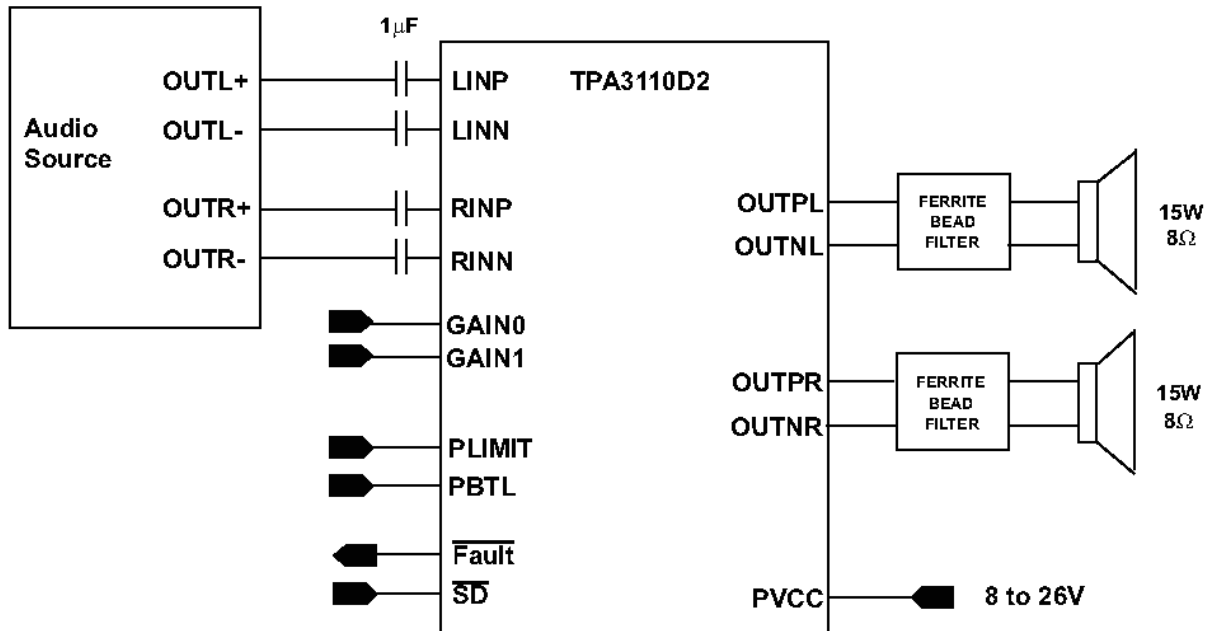
Joonis 3.3.1. Koodeki plokk skeem[7]

Koodek on lihtne seade, tema tööks on küll vajalikud mõningad välised komponendid, kuid muud ei ole temaga midagi vaja teha. Konkreetsetes rakenduses on koodekiks valitud Soome VLSI Solutions VS1003, mis on mõeldud MP3, WMA ja MIDI dekodeerimiseks. Koodek on mikrokontrolleriga pidevas ühenduses ning neil on Master-Slave suhe. Koodek ise on vaikumisi passiivne ning alles siis, kui mikrokontroller hakkab SD kaardilt andmeid koodekile üle kandma, saadab mikrokontroller koodekile esmalt äratuse. Samuti on mikrokontrolleri kaudu võimalik helivaljuse reguleerimine, mis saadetakse käskudena koodekile. Kõik toimub SPI'd kasutades. Koodeki RAM mälu on kasutajale eraldatud ruumi veel näiteks DSP efektide jaoks.

Kasutatava koodeki resolutsioon on 18 bitti, mis võimaldab edastada väga kvaliteetset heli eeldusel, et ka riistvaraliselt on kõik nõuded selleks täidetud: võimalikult lühised rajad, toitehäiringute summutamine, koodeki ülekuumenemise vältimine jne.

3.4. D-klassi võimendi

Joonisel 3.4.1 on ära toodud D-klassi võimendi elektriline põhimõtteskeem.



Joonis 3.4.1. D-klassi võimendi elektriline põhimõtteskeem[8]

Selle võimendi jaoks on samuti vaja väliseid komponente, kuigi disaini variante on siin nüüd mitu, olenevalt kas on üldse tarvis stereo heliväljundit või mitte. Monorakenduse jaoks on võimalik stereoväljund sillata, mis lubab muuhulgas ka maksimaalselt 1x30W helivõimsust. Muidugi sellega kaasneb ka vajadus sisendid sillata, milleks konkreetsetes disainis ruumi pole, kuid selleks pole ka põhjust, kuna eelistatud on just stereo heliväljund.

Sarnaselt koodekiga juhib mikrokontroller ka võimendit. Selleks on võimendil vastav SD (Shut Down) sisend, mis on välja toodud ka võimendi elektrilisel põhimõtteskeemil. Kui seade parasjagu helifaili ei mängi, on võimendi välja lülitatud ning kogu seade tarbib vaid vaikevoolu.

Olenevalt toitepingest ning sisemisest võimsuspiirangust, kujuneb välja ka lõplik helivõimsus. Laiades raamides on selleks 2x15W, kuid kõikide komponentide koosmõjul ning tüüpilisest madalama toitepinge tõttu on tegelik helivõimsus seadme väljundis 2x10.55W.[8]

Selle seadme puhul on ka väga oluline kasutada lahtisidestuskondensaatoreid. Nendest on täpsemalt räägitud peatükis 4.6, kus vaadeldakse D-klassi võimendi juures kasutatavat skeemi lähemalt.

4. Skemaatiline ülevaade

Eelnevas peatükis anti ülevaade disainitavast süsteemist koos analüüsi ja tähelepanekutega. Selles peatükis tuuakse välja konkreetne kasutatav skeem, tema funktsionaalsete osade lõikes. Kõikide skeemide tegemiseks on kasutatud Mentor Graphics PADS 9.2 tarkvara. Täielik kasutatud skeem on ära toodud lisas 2.

4.1. Nõuded riistvarale

Kuna tegemist on madalpingel töötava reaalarjasüsteemiga, siis sellest lähtuvad ka nõuded riistvarale. Nõuded pingevahemikele on kokku lepitud, kuid tulenevad siiski seadme funktsionaalsete osade nõuetest ja piirangutest. Sellel seadmel on väliseks toitepingeks 9.2-16.2V. See vastab enamustele 12V toiteadaptritele, mis võivad olla vähemal või rohkemal määral ideaalsed. Samuti lubab see antud seadet kasutada autodes. Põhilised parameetrid, millele disainitav riistvara peab vastama, on koondatud tabelisse 4.1.1.

Tabel 4.1.1. Seadme elektrilised põhiparameetrid

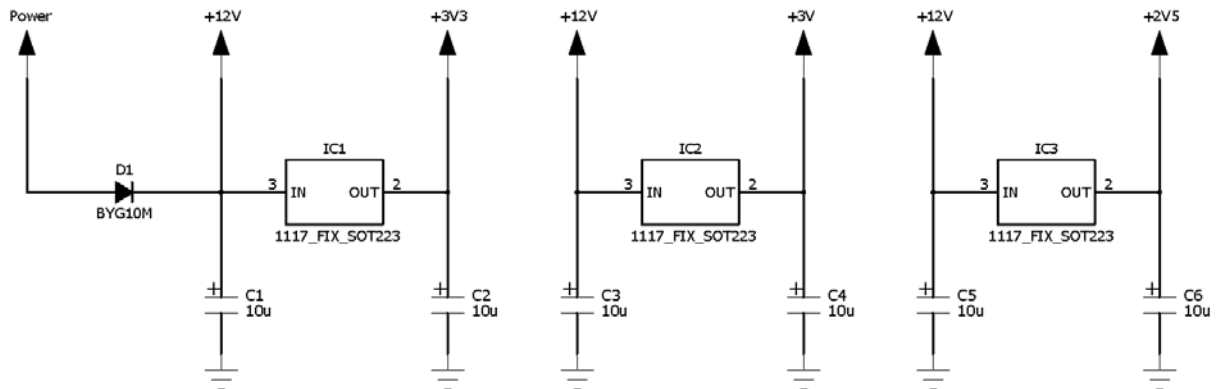
Parameeter	Tähis	Mõõtühik	Min	Nom	Max
Toitepinge	U	V	9.2	12	16.2
Seadme voolutarve, kui U=12V	I_T	mA	12.9	-	1469.3
Pinge sisenditel	U_{IN}	V	3.3*	3.3	28.3
Vool Sisenditel	I_{IN}	mA	-	-	20
Väljundvool läbi MOSFET'i**	I_{OUT}	A	-	-	5

*ainult pingeväljundiga sisendlülitustel. Madalaktiivsete sisendite puhul on see -0.3V – 0.8V, ehk pingevahemik, mida kasutatav mikrokontroller tajub oma sisendites kui madalaktiivset signaali.

**arvestatud on ainult ühe aktiivse väljundiga, s.o. normaalsete töötingimustega

4.2. Toitelülitus

Toitelülitus genereerib toitepingeid kõigile süsteemi komponentidele ja tagab kaitstuse toite polaarsuse äravahetamise eest. Peab olema võimalikult suure kasuteguriga ja seadme väikese korpuse huvides mitte vajama lisajahutust (jahutusradiaatorit või aktiivset jahutust).



Joonis 4.2.1. Toitelülituse skeem

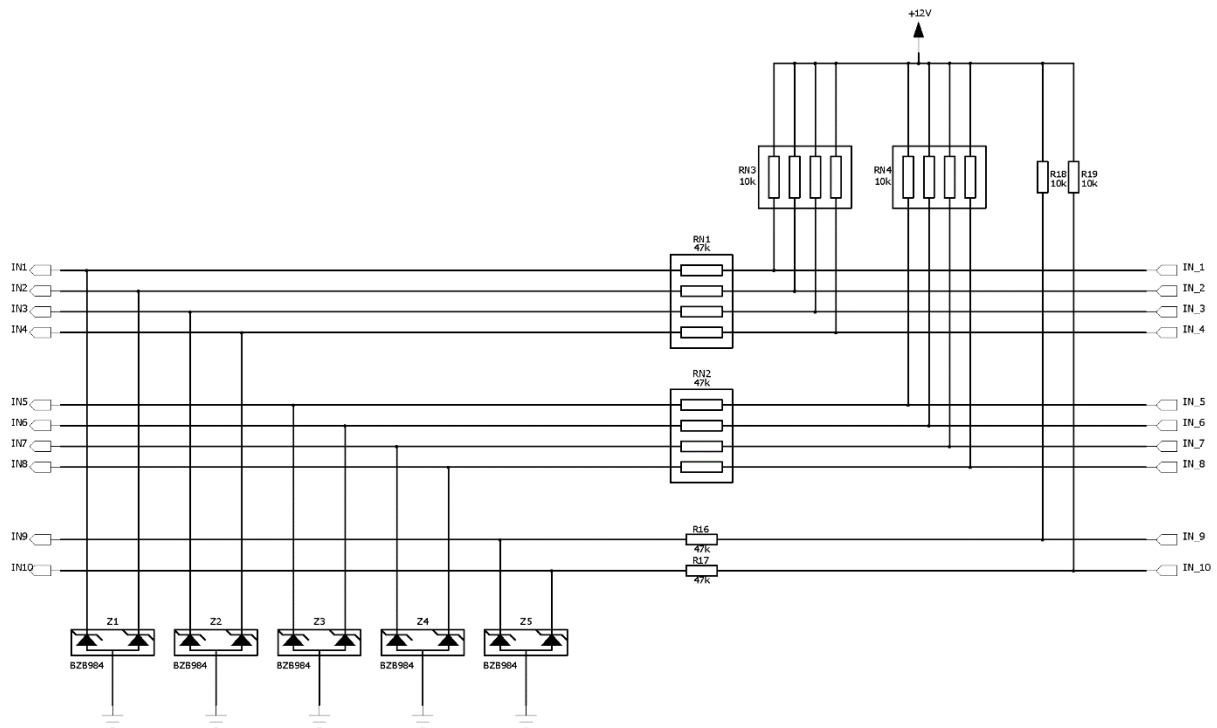
Toide on helisüsteemides oluline tegur, kuna sealt saavad tihti alguse mürad ning häiringud, mis võivad väljenduda helisüsteemi väljundis. Seadme väline toide peab olema vahemikus 9.2V – 16.2V (vt. Tabel 4.1.1 – „Seadme elektrilised põhiparameetrid“). Seadme siseselt järgneb toitesisendile vastandpolaarsuse kaitse ning kõik pingeregulaatorid ning võimendi saavad toidet peale seda. Seadmele lubatud toitesisendi pingevahemiku tõttu on väga mugav kasutada 12V toiteplokki. Vastandpolaarsuse kaitse langetab pinget diodi päripingelangu võrra, seega kogu sisemise elektroonika toitepingeks kujuneb ~11V, kuid lihtsuse mõttes võib tinglikult väita, et ka peale vastandpolaarsuse kaitset olev pinget on 12V ning edaspidi räägimegi toite puhul ainult seadme siseselt tekitatud toitest (v.a. väljundülituse puhul).

12V toiteliinil on kõik pingeregulaatorid, mis tekitavad 3.3V mikrokontrolleri, SD kaardi ja koodeki jaoks ning 3V ja 2.5V vastavalt koodeki analoog- ja digitaalosa toite jaoks. Kõik pingeregulaatorid on SOT223 korpuses, mis võimaldavad piisavalt suurt voolu ning antud seadmes olevate pingete ja voolude juures ei vaja lisajahutust, kuigi trükiplaadi disainis on suurendatud nende jootevälju ennetamiseks võimalikke temperatuurist tingitud probleeme.

Pingeregulaatorile on vaja ka korralikke pinget siluvaid kondensaatoreid. Olulisimad on need pingeregulaatori väljundis. Suurema koormuse puhul võib ebapiisavalt projekteeritud või puuduv pinget siluv kondensaatoreid pingeregulaator minna genereerima.

4.3. Sisendid ja väljundid

Joonisel 4.3.1 on välja toodud sisendite sobitus väliskeskonna ja mikrokontrolleri vahel. Sisendite õige sobitus on vajalik vältimaks mikrokontrollerile tekkida võivad kahjustusi või valesid sisendandmeid elektrisüsteemi vigade tõttu (lühiajalised ülepinged, lühised, kõrgsagedushäiringud).

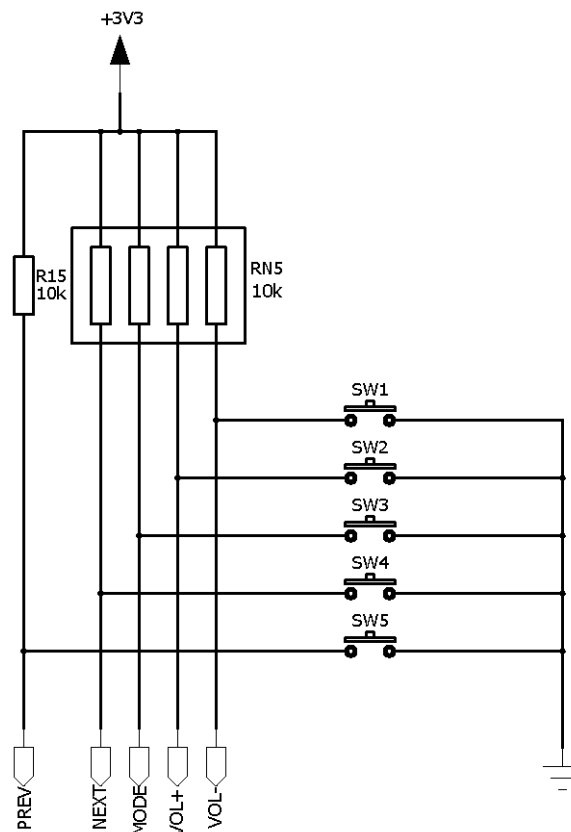


Joonis 4.3.1. Takisti-stabilitron ahelad

Sisendis on ära kasutatud takisti-stabilitron ahelaid, mis kindlustab ühelt poolt selle, et mikrokontrolleri sisendisse ei läheks suurem pinge ja ka vool, kui andmelehes lubatud. ATXmega16A4 puhul on maksimaalseks sisendpingeks 3.3V ja maksimaalseks vooluks ühel väljaviigul 20mA. Sisendid võivad olla nii madalaktiivsed (sisend lühistatakse maha) kui ka kõrgaktiivsed (pinge 3.3V kuni 28.3V). Stabilitronid kindlustavad selle, et üle 3.3V mikrokontrolleri otstele ei satu ning vool piiratakse maksimaalse võimaliku pinge juures alla 20mA.

Maksimaalse võimaliku sisendpinge juures eraldab stabilitron ka maksimaalset võimalikku võimsust. Ohutum oleks seega valida sisendseadmeks mõni 28.3V'ist madalamal pingel töötav seade. Kui MP3 mängija väliseks toiteks on valitud 12V, siis oleks otstarbekas ka sisendseade valida sama tööpingega, mis lubaks sisendseadet ja MP3 mängijat toita sama välise toiteallika poolt.

Joonisel 4.3.2 on ära toodud juhtnuppude juures kasutatav skeem.



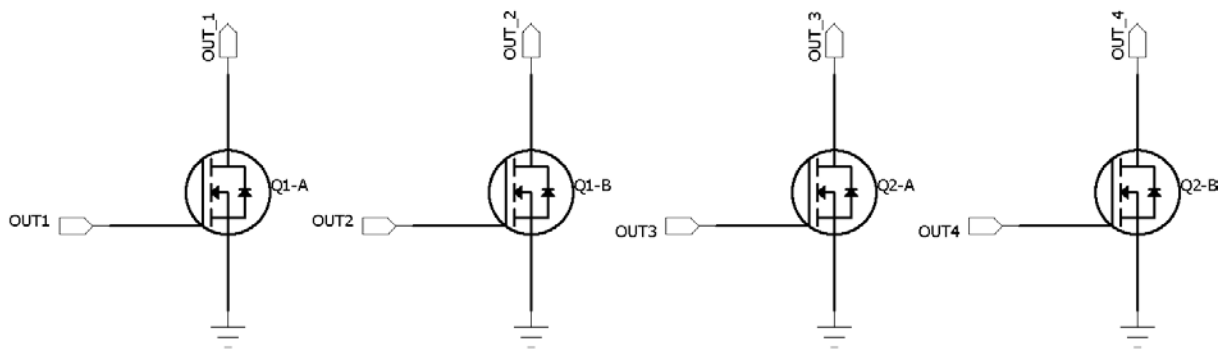
Joonis 4.3.2. Juhtnuppude skeem

Antud skeem koosneb viiest mikrolülitist, mis on kõik madalaktiivsed. Nupu vajutamisel lühistatakse vastav mikrokontrolleri väljaviik maaga ning tarkvara juba teeb sealt edasi oma toimingud. Pinget kõrgel hoidvad takistid hoiavad rahuolekus pinget pidevalt 3.3V peal, mis välistab häirete tekke mikrokontrolleri vastavatel otstel, kuna mikrokontroller ise ei ole võimeline igal väljaviigul toitepinget üleval hoidma läbi oma sisemise elektroonika.

Juhtnuppe kasutatakse helivaljususe kontrollimiseks, helifailide vahel liikumiseks ja režiimi valimiseks. Nad peavad taluma voolu vähemalt $I > 20\text{mA}$ ja pidama vastu lülituste korduse arvule vähemalt 1 miljon.

Lülitite tüübiks on NO (normally open) tüüpi mikrolülitid, ehk nad on rahuolekus avatud.

Joonisel 4.3.3 on välja toodud väljundilülituse skeem.



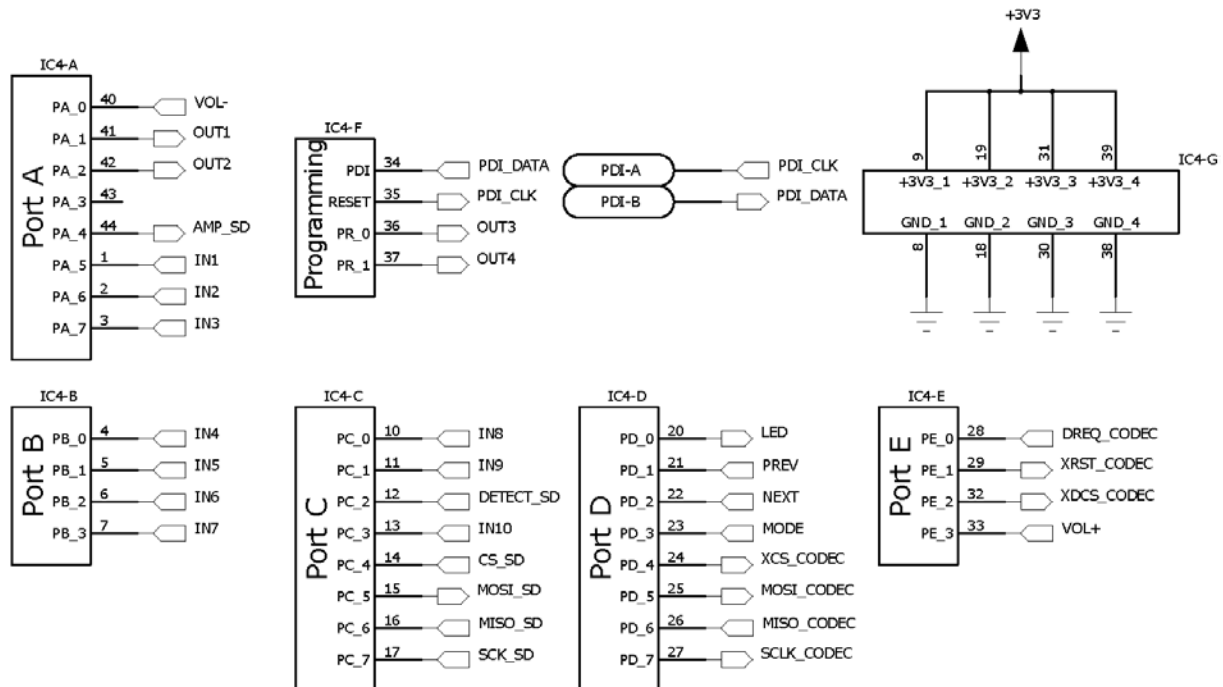
Joonis 4.3.3. Väljundilülituse skeem

Tegemist täiesti tavalise puhvriga, kus protsessori väljaviigust antakse pinge MOSFET'i paisule, mille tulemusena ühendatakse kokku vooluring läbi välise seadme. Tüüpiliselt ühendatakse läbi MOSFET'i omavahel kokku maandused. Konkreetset juhul on toodud 12V toide vastavasse väljundühenduspesasse otse väliselt toidelt ning maanduse saab vastav ühenduspesa läbi MOSFET'i, kui tema paisule antakse pingesignaal.

Väljundid on põhiliselt mõeldud LED valgustuse juhtimiseks. Mikrokontroller võimaldab seejuures lisaks LED valgustite tavapärasele tööle, rakendada ka PWM'i MOSFET'i paisul, selle läbi erinevaid valgusefekte tekitades. Näiteks valguse summutamine, vilgutamine, värelemine jne. Vastavalt sellele, mida mingi konkreetne rakendus vajab, kuid see veel hetkel nõuab iga spetsiifilise rakenduse jaoks erinevat tarkvaraversiooni. Tüüpiline seade eeldab vaid LED valgustite tavapärast tööd ning kõikide võimalike valgusefektide kasutamine oleneb kliendi nõuetest.

4.4. Mikrokontroller

Joonisel 4.4.1 on ära toodud mikrokontrolleri väljaviikude skeem.



Joonis 4.4.1. Mikrokontrolleri väljaviikude skeem

Mikrokontrolleri ainukesteks välisteks komponentideks on lahtisidestuskondensaatorid toite väljaviikudel, mida sellel skeemil pole ära näidatud (vt. Lisa 2). Skemaatiliselt on aga terve mikrokontroller jagatud tema enda funktsionaalseteks osadeks, ehk väravateks, et vältida mahukates skeemides tekkida võivat segadust. Eraldi on välja toodud ka toide, kuid PADS Logic lubab väljaviike ka nn. signaaliväljaviikudena defineerida, mis tähendab, et nendele antakse mingi kindel nimi ja neid ei ole vaja skeemisümbolis välja tuua. See võimalus tuleb küll teinekord kasuks, kuid standardiseeritud skeemidel tuleks kõik toite väljaviigud ära näidata. Eraldi on välja toodud ka PDI, mis jääb trükkplaadile lihtsa läbilaotavate aukude rivina. Tema aukude vahe on 3mm, mis on vajalik THE Systems OÜ poolt disainitud ja valmistatud programmeerimisplaatide kasutamiseks.

Skeemi pildi lihtsustamiseks ning tulevikus lihtsama ülevaate saamiseks on iga kasutatav mikrokontrolleri väljaviik nimetatud vastavalt temaga ühenduses oleva signaaliga.

4.4.1. Mikrokontrolleri väljaviikude kasutus

Tabel 4.4.1 kujutab mikrokontrolleri ATXmega16 väljaviikude ja funktsionaalsete signaalide seost. Välja on toodud signaali nimi skeemil, tema kirjeldus, kas see signaal on mikrokontrolleri jaoks sisend- või väljundsignaal. Kas signaal on madal- või kõrgaktiivne. Viimaks, mis on talle vastava mikrokontrolleri väljaviigule määratud nimetus ning väljaviigu number.

Tabel 4.4.1. Mikrokontrolleri sisendite ja väljundite kasutus (riistvara/tarkvara liidese kirjeldus)

MP3 CODEC						
Name	Description	In/Out	Active	Default	Pin Name	Pin Number
XCS_CODEC	Chip select	OUT	LOW	HIGH	PD4	24
SCLK_CODEC	Clock for serial bus	OUT			PD7	27
MISO_CODEC	Master In / Slave Out	IN			PD6	26
MOSI_CODEC	Master Out / Slave In	OUT			PD5	25
DREQ_CODEC	Data request	IN			PE0	28
XRSET_CODEC	Asynchronous reset	OUT	LOW	HIGH	PE1	29
XDCS_CODEC	Data chip select	OUT	LOW	HIGH	PE2	32
SD CARD						
Name	Description	In/Out	Active	Default	Pin Name	Pin Number
CS_SD	Chip Select	IN	LOW	HIGH	PC4	14
SCK_SD	Clock for serial bus	OUT			PC7	17
MISO_SD	Master In / Slave Out	IN			PC6	16
MOSI_SD	Master Out / Slave In	OUT			PC5	15
DETECT_SD	Card detect	IN	LOW	HIGH	PC2	12
PDI						
Name	Description	In/Out			Pin Name	Pin Number
PDI_DATA	Data in	IN			PDI	34
PDI_CLOCK	Clock	OUT			RESET	35
CONTROL						
Name	Description	In/Out	Active	Default	Pin Name	Pin Number
NEXT	Select next audio file	IN	LOW	HIGH	PD2	22
PREV	Select previous audio file	IN	LOW	HIGH	PD1	21

MODE	Mode selection	IN	LOW	HIGH	PD3	23
VOL+	Increase volume	IN	LOW	HIGH	PE3	33
VOL-	Decrease volume	IN	LOW	HIGH	PA0	40

INPUT

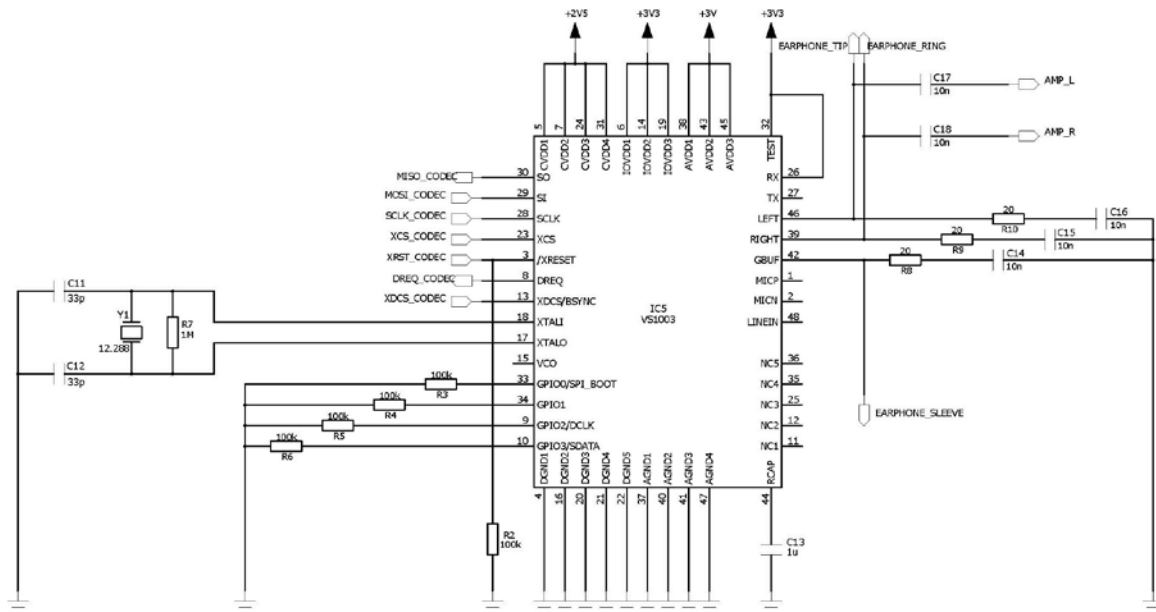
Name	Description	In/Out	Active	Default	Pin Name	Pin Number
IN1	Input 1	IN	LOW	HIGH	PA5	1
IN2	Input 2	IN	LOW	HIGH	PA6	2
IN3	Input 3	IN	LOW	HIGH	PA7	3
IN4	Input 4	IN	LOW	HIGH	PB0	4
IN5	Input 5	IN	LOW	HIGH	PB1	5
IN6	Input 6	IN	LOW	HIGH	PB2	6
IN7	Input 7	IN	LOW	HIGH	PB3	7
IN8	Input 8	IN	LOW	HIGH	PC0	10
IN9	Input 9	IN	LOW	HIGH	PC1	11
IN10	Input 10	IN	LOW	HIGH	PC3	13

OUTPUTS

Name	Description	In/Out	Active	Default	Pin Name	Pin Number
LED	Indication LED output	OUT	HIGH	LOW	PD0	20
AMP_SD	Amplifier shutdown	OUT	HIGH	LOW	PA4	44
OUT1	Output 1	OUT	HIGH	LOW	PA1	41
OUT2	Output 2	OUT	HIGH	LOW	PA2	42
OUT3	Output 3	OUT	HIGH	LOW	PR0	36
OUT4	Output 4	OUT	HIGH	LOW	PR1	37

4.5. Koodek

Joonisel 4.5.1 on ära toodud koodeki puhul kasutatav skeem. Koodekiks on valitud VLSI Solutions poolt toodetav VS1003.



Joonis 4.5.1. Koodeki väljaviikude skeem

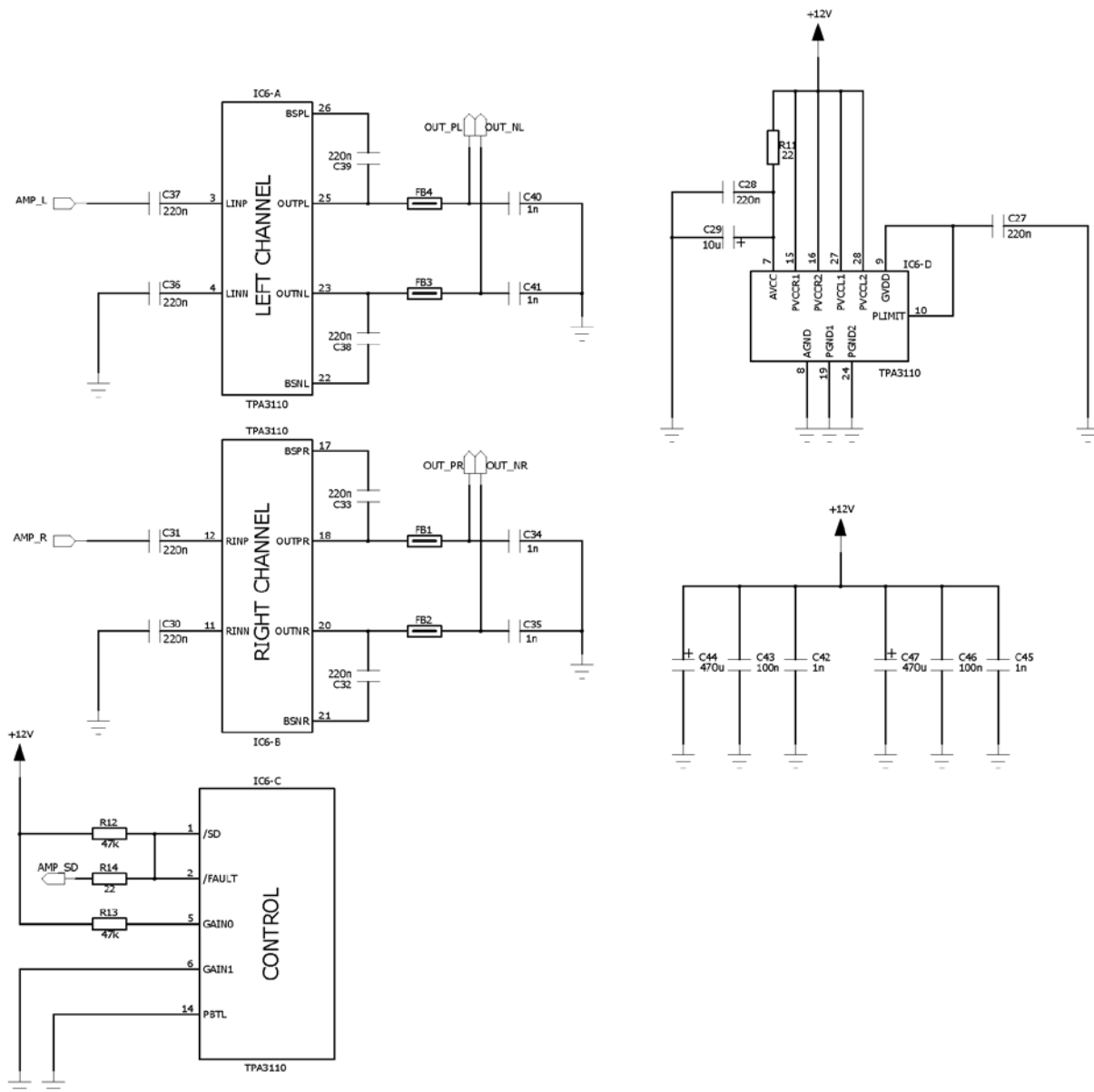
Nagu näha, on koodekil päris mitmeid vajalikke väliseid komponente. Kõige aluseks on muidugi toide ja lahtisidestuskondensaatorid, kuna ilma nendeta on mürad ja häiringud liialt kerged tulema. Võib isegi juhtuda, et kui nad välja jätta ei hakka seade töölegi. Sarnaselt mikrokontrolleri väljaviikude skeemiga (Joonis 4.4.1), pole ka koodeki puhul lahtisidestuskondensaatoreid sellel skeemil eraldi välja toodud (vt. Lisa 2). Kuna ruumipuudus oli suur ja igale toite väljaviigule lahtisidestuskondensaatoreid panna ei õnnestunud, tuligi teha kompromiss ning paigutada lahtisidestuskondensaatorid võimalikult vastava toite lähedale, kuna palju toite sisendid asusid kohe üksteise kõrval, lihtsustas see ka trükkplaadi disaini.

Koodekil on vaja välist kristalli sagedusega 12.288 MHz (tootjapoolne soovitus) ning enamus kasutamata jäänud sisendeid tuleb häirete vältimiseks läbi takisti maandusega ühendada. Ka andmelehes on vastavasisulist informatsiooni, mis tuleks enim hoolikalt läbi lugeda, kuna mitte kõikide sisenditega ei tohi sedasi toimida vaid nad tuleb jätta ühendamata.

Skeemil on ka selgelt näha, et koodek kasutab kolme erinevat pinget toitmaks oma analoog- ja sisendosa ning sisend/väljundviikude jaoks on omakorda eraldi toidet vaja. Kuna koodeki puhul pole UART'i vaja rakendada nõuab andmeleht UART'i ressiiveri (Rx) väljaviigu toitega ühendamist.

4.6. D-klassi võimendi

Joonisel 4.6.1 on ära toodud D-klassi võimendi skeem. Võimendiks on valitud Texas Instruments poolt toodetav TPA3110D2.



Joonis 4.6.1. D-klassi võimendi skeem

Võimendi skeemi koostamisel oli väga suureks abiks andmeleht. Disainiparameetrid kujunesid aga välja töö käigus ning igasugune komponentide valik oli üpris aktuaalne. Kõige määravamaks osutus komponentide suurus, kuna ruum oli väga piiratud. Ebatüüpiliselt tavaliste mikrokiipidega on sellel võimendil toite lahtisidestuskondensaatoreid vaja rohkem kui üks igale toitele: kaks erineva mahutvusega keraamilist kondensaatorit ning üks elektrolüüt-kondensaatoreid, mis kõik summutavad

erinevat tüüpi toiteliini müra vähendades seega seadme poolt tekitatud harmoonilisi moonutusi. 1nF kondensaator aitab summutada kõrgemaid sagedusi, mida tekitavad parasiitsed skeemielemendid nagu näiteks vase raja induktiivsused[8]. 1 μ F lahtisidestuskondensaatorit kasutatakse keskmiste sageduste summutamiseks, mida tekitavad filtrite resonantsused või PWM lülitused[8]. Madalate sageduste väljafiltreerimiseks on vaja kasutada suuremamahulisi alumiinium elektrolüüt-kondensaatoreid[8].

Lahtisidestuskondensaatorid kaitsevad nii mürade eest, kui ka koguvad energiat endasse, mis loovutatakse võimendile, kui sellel on vaja eraldada suuremat võimsust. Näiteks juhul, kui väljundis on suureamplituudiline madalsageduslik signaalikuju.

Ebatüüpiliselt teiste D-klassi võimendite puhul ei lähe selles töös kasutatava D-klassi võimendi jaoks vaja induktiivset väljundfiltrit. Korrekse töö tagamiseks piisab vaid mahtuvuslikust passiivsest filtrist, mille jaoks on kasutatud ferriithelmeid kõrgsagedusliku müra vähendamiseks ning keraamilist kondensaatorit. Põhiline põhjus miks D-klassi võimendi vajab väljundfiltrit on, et lülituse signaalikuju põhjustaks maksimaalse voolu väljundis. See aga toob kaasa rohkem kadusid koormuses, ning see omakorda vähenenud tõhusust. Tüüpilisel D-klassi võimendil on diferentsiaalne pingevahemik võrdne kahekordse toitepingega ($2 \cdot V_{CC}$). Ideaalne induktiivne filter salvestab väljundis tekkiva voolukõikumise igal poolperioodil, et see ei läheks kõlari takistuse tõttu kadudeks, vähendades seega üleüldist efektiivsust. TPA3110D2 kasutab aga modulatsiooni skeemi, mis vähendab kadusid koormuses ilma induktiivset filtrit kasutamata, kuna lülituse pulsid on väga lühikesed ning diferentsiaalset pingevahemik on võrde vaid ühekordse toitepingega. Väljundvõimsuse kasvades lülituse pulsid laienevad ning sellega kaasneb ka voolukõikumise kasv, mida oleks suurema tõhususe saavutamiseks võimalik välja filtreerida induktiivset filtrit kasutades, kuid enamikes rakendustes pole see siiski vajalik.[8]

5. Skeemitehnilised arvutused

5.1. Voolutarve

Kõikide aktiivsete seadme komponentide voolutarve on välja toodud tabelis 5.1.1.

Tabel 5.1.1. Seadme üldine voolutarve

Mikrokontroller ATXmega16A4U	Maksimaalne voolutarve	200mA
	Vaikeoleku voolutarve	5.5mA
Koodek VS1003	Analoogosa maksimaalne voolutarve	36.9mA
	Digitaalosa maksimaalne voolutarve	12.4mA
	Vaikeoleku voolutarve	7mA
D-klassi võimendi TPA3110	Maksimaalne voolutarve	1100mA
	Vaikeoleku voolutarve	50mA
	Voolutarve SD režiimil	0.4mA
Indikaator LED	Maksimaalne voolutarve	20mA
SD kaart	Maksimaalne voolutarve [9]	100mA
Väljund MOSFET'id[10]	Maksimaalne voolutaluvus, 1 transistor	5A
	Maksimaalne voolutaluvus, 4 transistori	20A

Kõikide aktiivsete seadme komponentide voolutarve on minimaalselt 12.9mA ning maksimaalselt 1469.3mA, millele lisandub väljundis olevate seadmete voolutarve. Sellele seab aga piiri MOSFET'ide voolutaluvus, milleks on maksimaalselt 20A kõigi nelja väljundi peale kokku. Tavarakenduses aga on töös vaid üks väljund korraga, seega on tavarakendustes 12V seadme puhul maksimaalseks väljundvõimsuseks 60W mis vastab tüüpilisele 5 meetrit pikale LED ribale. Seega kombineeritult on vaja maksimaalselt ~6.5A välist toiteallikat. Erirakendustes, kus töötada võivad mitu väljundit paralleelselt, peab arvestama nende väljundite voolutarvet, mida tuleb arvesse võtta välise toiteallika valimisel.

5.2. Mikrokontrolleri väljaviikude koormatavus

ATXmega16 väljaviikudele lubatud maksimaalsed voolutugevused on välja toodud tabelis 5.2.1.

Tabel 5.2.1. ATXmega16 maksimaalsed voolutugevused

Ühele väljaviigule	20mA
Port A + Port B	100mA
Port C+ Port D + Port E	100mA
Kogu mikrokontrollerile	200mA

5.3. Toitelülitus

Tabelis 5.1.1 on välja toodud seadme põhilised voolutarbed. Neid kasutades saame paika panna ka toitelülitusele esitatavad nõuded.

Seadmes tekitatakse kolm erinevat pinget: 3.3V, 3V ja 2.5V.

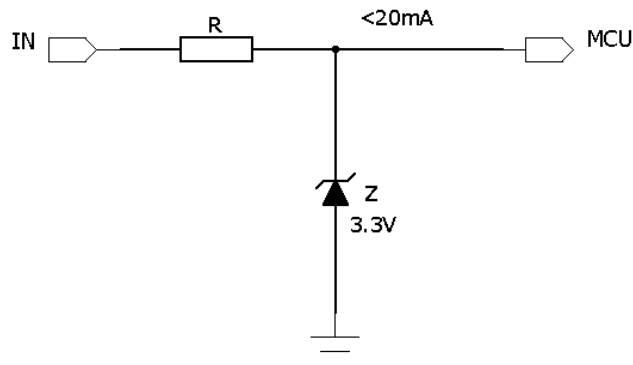
3.3V toidet vajab mikrokontroller ja SD kaart. Mikrokontroller tarbib 200mA, SD kaart maksimaalselt 100mA, seega peab 3.3V pingeregulaator suutma vähemalt 300mA väljundvoolu tekitada. Arvestama peab ka mõningase varuga.

3V toidet vajab koodeki analoog osa, tarbides 36.9mA ning 2.5V toidet vajab koodeki digitaal osa, tarbides 12.4mA.

Nende komponentide valikul tuleb esmalt lähtuda vajalikust väljundpingest ning seejärel minimaalsest vajalikust väljundvoolust. Ka sisendpinge vahemiku väärtused on olulised. Kaks viimast võiksid olla suuremad kui vaja. Seejärel tuleks teha otsus hinnast ning kättesaadavusest lähtuvalt.

5.4. Sisendite lülitus- ja sobitusaste

Joonisel 5.4.1 on ära toodud takisti-stabiltron ahela skeem.



Joonis 5.4.1. Takisti-stabiltron üks ahel

Kuna on teada, et mikrokontrolleri väljaviigul on maksimaalne lubatud vool 20mA, maksimaalne stabiltroni läbiv võimsus on BZB984 seeria stabiltronil 425mW[11] ning stabiltroni pinge on 3.3V saame välja arvutada maksimaalse lubatud sisendpinge. Stabiltroni voolu piirava takisti väärtuseks on võetud 10kΩ ning 0402 korpus võimaldab 62.5mW võimsust.

Seega:

$$I_L = 20mA$$

$$P_R = 62.5mW$$

$$R = 10k\Omega$$

$$P_Z = 425mW$$

$$V_Z = 3.3V$$

Kuna on teada, et

$$I_{Z(\max)} = \frac{P_Z}{V_Z}$$

saame järeldada, et $I_{Z(\max)} \cong 128mA$ [12]

Kui arvestada, et maksimaalselt on mikrokontrolleri väljaviikudel lubatud 20mA, siis selgub, et kogu vool skeemis on

$$I_T = I_Z + I_L,$$

ehk 148mA. [13: lk. 112]

Sealt saame arvutada juba maksimaalse lubatud pinge seadme sisenditel:

$$P_R = (V_{IN} - V_Z) \cdot \frac{V_{IN} - V_Z}{R},$$

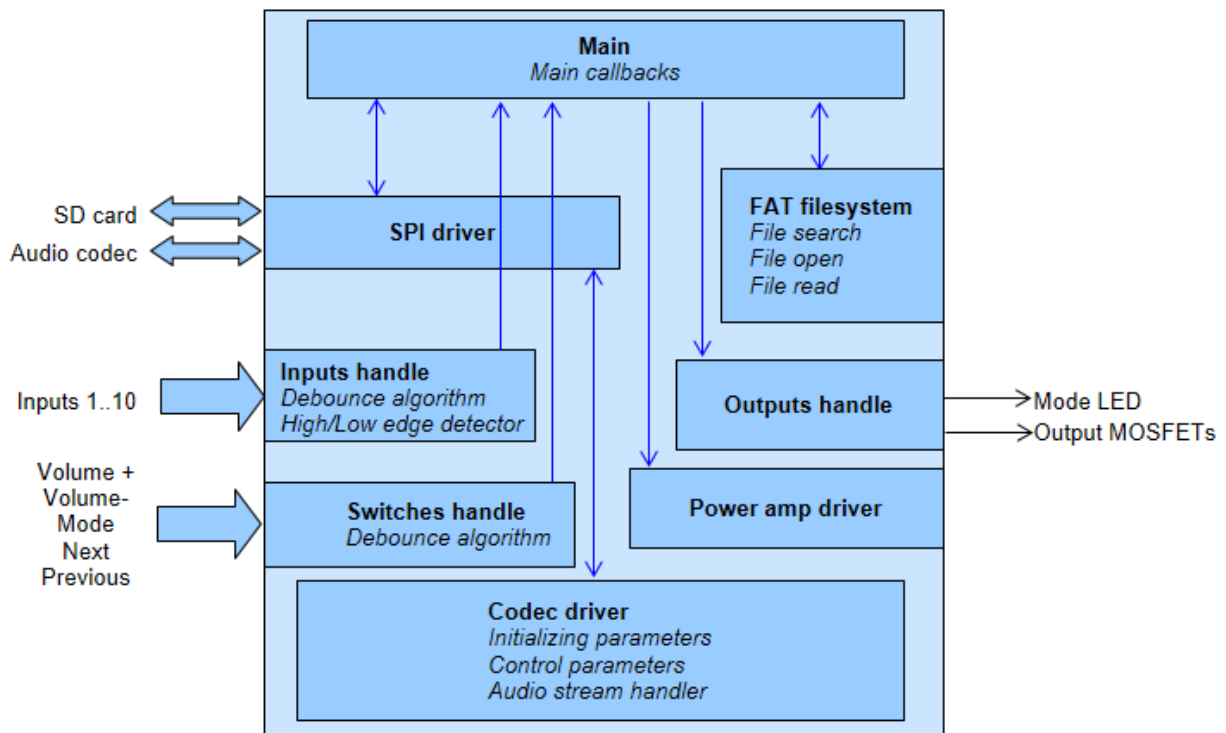
millest järeldub, et $V_{IN(\max)} = 28.3V$

6. Tarkvara projekteerimine

Järgnevas peatükis kirjeldatakse loodava süsteemi tarkvaralist funktsionaalsust ja tarkvarale püstitatud nõudeid. Seade peab olema suuteline reaajas jälgima sisendeid ja neid nõutud viisil töötleva. Tarkvara väljatöötamise põhiülesanne oli selle lõputöö kirjutaja töökaaslasel.

6.1. Tarkvara plokkskeem

Joonisel 6.1.1 on ära toodud tarkvara plokkskeem.



Joonis 6.1.1. Tarkvara plokkskeem

Tarkvara plokkskeemil on ära toodud kõik üksikud tarkvara funktsionaalsed osad, mida lähemalt kirjeldatakse järgmises peatükis.

6.2. Tarkvara funktsionaalsuse kirjeldus

Tarkvara võib vastavalt selle planeeritavatele funktsionaalsetele osadele tükeldada osadeks.

Sisendid

Sisendeid on kümme ning nad võivad olla nii madal- kui ka kõrgaktiivsed. Sisendi tuvastamisel mikrokontrolleri poolt pööratakse peafunktsiooni poole, mis käivitab protsessi SD kaardilt andmete kopeerimiseks koodekisse. Paralleelselt koodek ning võimendi äratatakse üles, et nad oleksid saabuvalle signaalile vastuvõtlikud. Sisendite puhul on rakendatud ka mikrokontrolleri võimalustest lähtuvalt madal- ja kõrgaktiivsete signaalide tuvastamise algoritmi, mida saab valida manuaalselt, nagu on kirjeldatud peatükis 3.1.

Lülitid

Sarnaselt sisenditele pööratakse lüliti vajutamisel peafunktsiooni poole ning vastavalt kasutatud lüliti funktsioonist viiakse läbi ka vastav toiming.

Väljundid

Paralleelselt sisendi aktiveerimisele pöörduv peafunktsioon alamfunktsiooni poole, mis lubab väljundil aktiveeruda. Kuna väljundeid on vaid neli, siis toimib see sedasi vaid esimese nelja sisendi puhul. Samas alamfunktsioonis on defineeritud ka indikaator LED'i käitumine, nagu on kirjeldatud peatükis 3.1.

SPI draiver

SPI draiver hoolitseb andmete ülekandmise eest SD kaardilt koodekisse. SD kaart ning koodek on eraldi SPI liinidel, mistõttu tuleb mikrokontrolleril andmeid enda siseselt transportida.

Koodeki draiver

See on antud seadmes kasutatava koodeki jaoks kirjutatud draiver, mis juhib koodeki äratamist, andmete voogu koodekisse SPI liini pidi ning ühtlasi võimaldab ta koodeki lihtfunktsioone kasutada, nagu helivaljususe reguleerimine.

Võimendi

Võimendi aktiveerimiseks on kirjutatud spetsiaalne alamprogramm, mis saadab signaale võimendi \overline{SD} sisendile, samuti jälgib ta antud sisendit teavitades vigade ilmnenemisest võimendi töös, mis on üks võimendi enda erifunktsionaalsus.

FAT failisüsteem

See alamprogramm hõlmab endas üle 90% mikrokontrolleri käsutuses olevast programmimälust. See on lihtne operatsioonisüsteem, millega saab otsida, avada ning lugeda FAT failisüsteemi kirjutatud andmeid. Antud juhul neid toiminguid teha SD kaardiga.

6.2.1. Programmeerimiskeele valik

Programmeerimiskeele valik lähtub kasutatavast riistvarast. Kuna kasutatud on Atmeli mikroprotsessorit, siis programmeerimiskeeleks sai C keel. Kasutatud on nii standardseid, kui protsessori mudelile spetsiifilisi teeke.

6.2.2. Programmeerimisstandard

Koodi kirjutades on jälgitud THE Systems OÜ's kasutusel olevat koodistandardit. See hõlmab .h failide struktuuri, muutujate defineerimisvormi, funktsioonide päiseid, kommentaaride vormi jm. Standardi kohaselt on lähtekood ja dokumentatsioon sisalduvad joonised/tabelid inglisekeelsed.

6.2.3. Koodi versioonihaldus

Arenduse ülevaatlikuse huvides peab iga funktsionaalselt tähtis koodimuudatus kaasa tooma uue versiooninumbri. Sedasi saab kergelt ka eelmiste versioonide juurde tagasi pöörduda. Tarkvaraversioonide ajalugu on välja toodud tabelis 6.5.1.

6.2.4. Arhitektuuri valik

Tarkvaraarhitektuuri valikul arvestati nelja kriteeriumit[19]:

- realiseerimise kulutusi
- nõudeid protsessori võimsusele ja mälumahule
- tarkvara struktuuri ülesehituse mugavust ja tema katsetatavust
- hooldatavust ja modifitseeritavust.

Eesmärk oli programmis kasutada nii palju juba olemasolevaid teeke, kui võimalik, et programmeerimiseks kuluv aeg oleks väiksem, seega ka tarkvaraarendus odavam. Samuti oli eesmärgiks kasutada juba varasemalt välja töötatud koodi, mis oleks otse või väheste muudatustega ühilduv ka MP3 mängija jaoks. THE Systems OÜ's on tavaline praktika ühildada riistvara- ja

tarkvaradisain kasutades varasemaid arendusi. Kõik olulised signaalid võiksid sattuda samadele mikrokontrolleri väljaviikudele läbivalt iga arenduse puhul, kui vähegi võimalik. See hõlbustab oluliselt tarkvaraarendust ning selle peale kuluvat aega. Iga tarkvara funktsionaalne osa on kirjutatud eraldi funktsiooni, mis kutsutakse välja peaprogrammist. See tagab arusaadava struktuuri ning funktsioone on ka lihtne testida üksteisest iseseisvalt. Kogu kood on ka rikkalikult kommenteeritud, et sellest oleks võimalik vähese vaevaga ja kiirelt aru saada, seda muuta ning hooldada. Igale funktsioonile eelneb päis, kus kirjeldatakse funktsiooni olemust, tema sisendeid ja väljundeid. Samuti on päises välja toodud veel tööd vajavad koodi osad.

6.3. SD kaardiga suhtlemine

SD kaardiga suheldakse üle SPI protokolliga ning kasutades FAT failisüsteemi, mis on operatsioonisüsteemina kirjutatud kasutatava mikrokontrolleri programmimällu. SD kaardil olevad helifailid on kindla nimetusega ning see on tarkvaraliselt ära määratud. Helifail 1 on nimega song1.mp3, helifail 2 on nimega song2.mp3 jne.

SPI protokoll kasutab ära Master-Slave hieraariat kus üks juhtseade alustab andmete ülekannet ning temale alluv seade või seadmed hakkavad juhtseadmele andmeid üle kandma. Selleks seadistab juhtseade esmalt taktsageduse, milleks on maksimaalne või sellest väiksem taktsagedus, mida temale alluv seade toetab. Kui juhtseadmele allub rohkem kui üks samal SPI liinil olevat seadet, valib juhtseade esmalt seadme kellega ta soovib andmeid vahetada. Igal taktil saadab juhtseade MOSI liini pidi ühe biti temale alluvale seadmele, kes loeb seda bitti samalt liinilt ning samal taktil saadab alluv seade MISO liini pidi ühe biti juhtseadmele, kes samuti loeb seda bitti samalt liinilt. Ülekanded tavaliselt koosnevad 8 bitistest sõnadest, mis loetakse mällu ning registrisse loetakse uus andmejada.[14] Sõnade suurus võib ka erineda, kuid selles seadmes kasutatav mikrokontroller on 8 bitine seega on ka sõna suurus antud juhul 8 bitti.

6.4. Mikrokontrolleri programmeerimine

Nagu ka eespool mainitud, on mikrokontrolleri juhtprogramm kirjutatud C's, mis on tingitud mikrokontrolleri valikust. Kasutatud on "AVR GCC" standardteeke ning ka mikrokontrolleri spetsiifilisi teeke. Kood on kirjutatud Atmeli mikroprotsessorite tarkvara arenduskeskkonnas Atmel AVR Studio 6.2[15]. Keskkonda on integreeritud kompilaator, linkur ja teised koodi arendamiseks vajalikud funktsionaalsused[15].

Koodi töö testimiseks kasutati nii arenduskeskkonda integreeritud simulaatorit kui ka riistvaralist emulaatorit AVR Dragon[6], millega on võimalik programmi panna katkestuspunkte ning jälgida muutujate väärtusi.

Riistvaraliselt on Atmeli mikrokontrolleritel juhtprogrammi laadimiseks ja emuleerimiseks mitu võimalust[6]:

- PDI
- JTAG

Selles projektis valiti liideseks valikust esimene, kuna PDI kasutab programmeerimiseks ainult kahte väljaviiku ja toidet. Lisaks on PDI liidesega ka võimalik, lisaks programmeerimisele, ka tarkvara siluda.

6.5. Tarkvaraversioonide ajalugu

Tabel 6.5.1. Tarkvaraversioonide ajalugu

SW version	Completed date	Responsible	Description
0.1	05.09.2013	TTA	SPI Driver
0.2	21.09.2013	TTA	FAT filesystem
0.3	22.09.2013	TTA	Inputs handle Added debounce algorithm Added high/low edge detector algorithm Switches handle
0.4	25.09.2013	TTA	Output handle
0.5	09.10.2013	TTA	Codec driver Added initializing parameters Added audio stream handler
0.6	15.10.2013	TTA	Added control parameters for codec driver
0.7	17.10.2013	TTA	Power amplifier driver
0.8	22.11.2013	TTA	Fixed bug with high/low edge detector algorithm
0.9	24.11.2013	TTA	Fixed big with codec driver control parameters

7. Trükkplaadi disain

Selles peatükis peatutakse trükkplaadi disainil lähemalt. Trükkplaadi joonise koostamisel on kasutatud Mentor Graphics PADS Layouti. Trükkplaadi disain on ühepoolse komponentide paigutusega. Komponentide paigutuses on arvestatud, et kvartsgeneraator asub võimalikult koodeki läheduses ning kõik lahtisidestuskondensaatorid asuksid võimalikult lähedal oma vastavatele toitesisenditele. Kõik funktsionaalsed skeemi osad on grupeeritud kokku, väljundid ei sega kuidagi SPI liine, ning nendest ei lähe paralleelselt mööda ka ühtegi toiterada. Samuti puuduvad vajadused jahutusradiaatoritele ja sealt tulenevatele disainikitsendustele, kuna kõik jahutused on integreeritud komponendi all olevasse vasealasse. Kuna tegemist on tulevikus tööstuslikuks tootmiseks mõeldud prototüübiga, on kasutatud võimalikult väikeseid komponente, mida on siiski ka mikroskoobi all võimalik käsitsi joota, kui peaks selleks tekkima vajadus. Disain on küllaltki tihe ning kasutatud maa-potentsiaaliga alasid võimalike häirete vähendamiseks. Samuti on arvestatud EMC nõudmisi, mis tulenevad CE-sertifikaadi taotlemiseks vajalikest mõõtmistest.

7.1. Nõuded trükiplaadi disainile

Trükkplaadi disaini nõudeid on väga erinevaid. Olgugi, et on palju standardiseeritust on ka piisavalt ruumi riistvara inseneride enda eelistuste väljakujunemiseks. Üks kõige olulisemaid tähelepanekuid tänapäeva CAD põlvkonna puhul on see, et arvutitehnika arenguga ja CAD tööriistade võimsusega on võimalik arvutiekraanile saada esteetiliselt väga ilus pilt. See aga võib mõnel juhul olla näiline ilu kuna, kui trükiplaadi tootja võimalusi pole arvestatud, siis halvimal juhul ei ole projekteeritav trükkplaat toodetav ning vajab ümber disainimist. Mõned näited olulisematest trükkplaadi disaini parameetritest ühe Hiina väiketootja poolt on toodud tabelis 7.1.1[16]

Tabel 7.1.1. Trükkplaadi disaini tootjapoolsed võimalused

Vase kiht plaadi servast	0.3mm
Jootemaski vabastus	0.1mm
Joonelaius	0.15mm
Metalliseeritud auk	0.3mm - 6.3mm (sammuga 0.1mm)
Aukude vahe (min)	0.25mm
Auk plaadi servast	0.4mm
Kuvasuhe	8:1

Kuid tõepoolest on tüüpilised probleemid just trükkplaadi projekteerijate ja tootjate vahelises suhtlemises. Need on aga andestamatud vead, mis võivad kaasa tuua hulganisti probleeme ning aja- ja rahakulu.

Ühesõnaga, projekteerijate ja PCB valmistajate omavaheline suhtlus jätab võimaluse tõlgendusvigadeks, st. suhtluses ei kasutata ühestimõistetavat terminoloogiat. Trükkplaati tuleb projekteerida võttes arvesse eeldatavat tootjat, tema tehnoloogilist võimekust ja käitumismalli vastuolude korral gerberfailides. Tehnoloogilise võimekuse puudumisel võib mittekorrektne tootja gerberfaile mugandada ja tekitada väljatöötlusele korvamatut kahju. Paljud projekteerijad ajavad segamini tootja tehnoloogilised võimalused ja projekteerimisreeglid.[17]

Suur probleem on läbiviikavadega. Neid tuleks kasutada arukalt, kuna mida vähem ühendusi, seda töökindlam plaat ning neid ei tohiks projekteerida minimaalsetena, kui selleks pole vajadust. Läbiviikavade projekteerimisel on kõige olulisem jälgida kuvasuhet (materjali paksus jagatud puuri diameetriga). Mida suurem on kuvasuhe, seda enam on võimalus ava kvaliteedi halvenemiseks. Ühtlasi tuleb kontrollida kas vasepaksus radel ja läbiviiguavade voolutaluvus on korrelatsioonis.[17]

Rohkem kui kahekihiliste plaatide puhul on läbiviikavade puurimine täpne töö, mille puurimiseks peaks kasutama positsioneerimiskaamerat, mida aga paljud suured Hiina tootjad ei kasuta. Selle asemel soovitavad nad läbiviikavade puhul kasutada tilgakujulisi platse, et kompenseerida puurimisel tekkida võivat ebatäpsust.[17]

Keerulisematel plaatidel on väga oluline topograafia e. vasepinna ühtlane jagunemine kogu plaadil, sh ka sisekihtides.[17]

Eristada võib tootmist nii prototüüpimiseks, kui tööstuslikuks tootmiseks, kuid nii ühe kui teise puhul ei tohiks mingeid mööndusi disainiparameetrites teha ning tuleks disainida kõik tooted juba nii ideaalile lähedaselt, kui võimalik. Prototüüpimiseks disainitud plaadid ei vaja paneliseerimist ning neid võib tellida üksikuna. Tööstusliku tootmise eelduseks on aga SMA ladumine ning selle jaoks on vaja, et trükkplaat oleks paneliseeritud. Ka paneelis oleva plaadi topograafia on oluline, ehk paneeli ääred peavad samuti olema vasekihiga kaetud[17]. Paneeli mõõtmed tuleks vaadata sellised, et nad ei ületaks SMA ladumisteenust pakkuva ettevõtte ladumismasina võimekust. Ladumismasina jaoks on vajalikud nn. usalduspunktid (i.k. fiducials), mille abil suudab ladumismasin ennast plaadi peal õigetesse kohtadesse positsioneerida.

Paneliseerimise jaoks on samuti trükkplaadi tootjatel mitmeid võimalusi. Kas piisab freesimisest või läheb tarvis V-lõiget, kas murdekohad lihtsalt perforeerida või kasutada kombinatsiooni kõigist kolmest. Nüüd peavad aga trükkplaadi projekteerijad arvestama sellega, et ka taolistel tööriistadel on oma tolerantsid ning trükkplaadi joonisel tuleb nendega ka arvestada.

Näiteks freesimisel on juba lõikepea positsioneerimise tolerants $\pm 0.1\text{mm}$ ning kraadide ja lühiste tekke vältimiseks lubab Brandner PCB trükkplaadi piirjoone ja vaseala vaheliseks minimaalseks kauguseks 0.2mm . V-lõike puhul tuleb arvestada, et lõiketera on tal ümmargune ning tema hambad võrdhaarse kolmnurga kujulised, seega mida sügavamale tera lõikab, seda laiemaks muutub kolmnurga alus e. lõikejoon. Kõrvuti asetsevate lõikejoonte kaugus peab olema minimaalselt 8mm . V-lõiget on võimalik kasutada hüpiklõikena ning teda võib kombineerida freesiga. Kahe hüpiklõike vaheline kaugus peab olema minimaalselt 20mm , mis on tingitud lõiketera diameetrist.[17]

Nagu kirjas ka ülevalpool pakub Brandner PCB samuti maskivabastuse ideaalseks suuruseks jooteväljast 0.1mm suuremat ala. Maskivabastuse õige kasutamine on oluline, kuna see on jootmisprotsessis peamine lühiste tekkimise allikas. Soovitav on kasutada ühesuuruseid maskivabastusi või jätta maskivabastused jooteväljaga samaks.[17] Gerberite koostamisel saab hiljem jooteväljade failist tekitada maskivabastuse kihi, kus saab ära määrata kui palju peab see ala jooteväljast suurem olema.

7.2. Disain

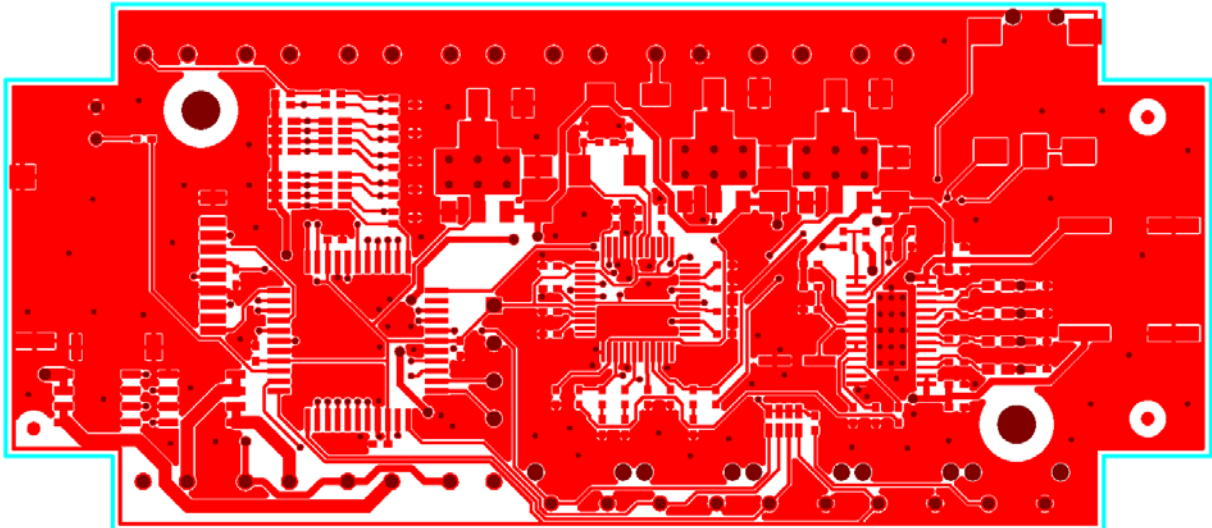
Kuna ruumi oli väga vähe, kogu skeem pidi ära mahtuma $95\text{mm} \times 42\text{mm}$ suurusele trükkplaadile, millel olevat ruumi vähendasid veel kinnitusaugud ja väljalõiked nurkades, oli kasutatavate komponentide suurus väga oluline. Kasutatud minimaalsed komponendid on 0402 suuruses. Kuid oli kohti kus mööndusi väga teha ei saanud, nagu näiteks elektrolüüt-kondensaatorid, mis on piisavalt suured. Kõik mikroskeemid olid kindla suurusega ja neid ei olnud väiksemates korpustes saada. Kuna disain tehti selline, mida oleks vajadusel võimalik ka käsitsi joota ei tulnud kõne alla ka pelgalt SMA tootmiseks kõlbulikud korpused. Pingeregulaatoreid leiab ka palju väiksemas korpuses kui SOT223, kuid siin on määrav hind ning ka võimsus, samuti võimsuse hajumise tegur. Selles disainis kasutatavad lülitid, ühenduspesad, valgusdiodi pesa, 3.5mm ühenduspesa, mikro SD kaardi pesa, MOSFET'id, ning korpus ise on THE Systems OÜ eelistused, kus mööndusi teha ei olnud võimalik.

Selle lõputöö raames on trükkplaadi disain antud seadmele tehtud kaks eri versiooni. Kõige esimene versioon oli kahepoolne trükkplaat kahepoolse komponentide asetusega, mis tööstusliku tootmise poolest tähendanuks kaks korda kallimat tootmist, kuna trükkplaate on vaja käsitsi ümber keerata ning uuesti ladumismasinasse sisestada. Sedasi toimides tuleb raskemad komponendid kinni liimida, et nad ära ei kukuks. Samuti läheb vaja kahte stentsiili ning kahte erinevat ladumismasina programmi.

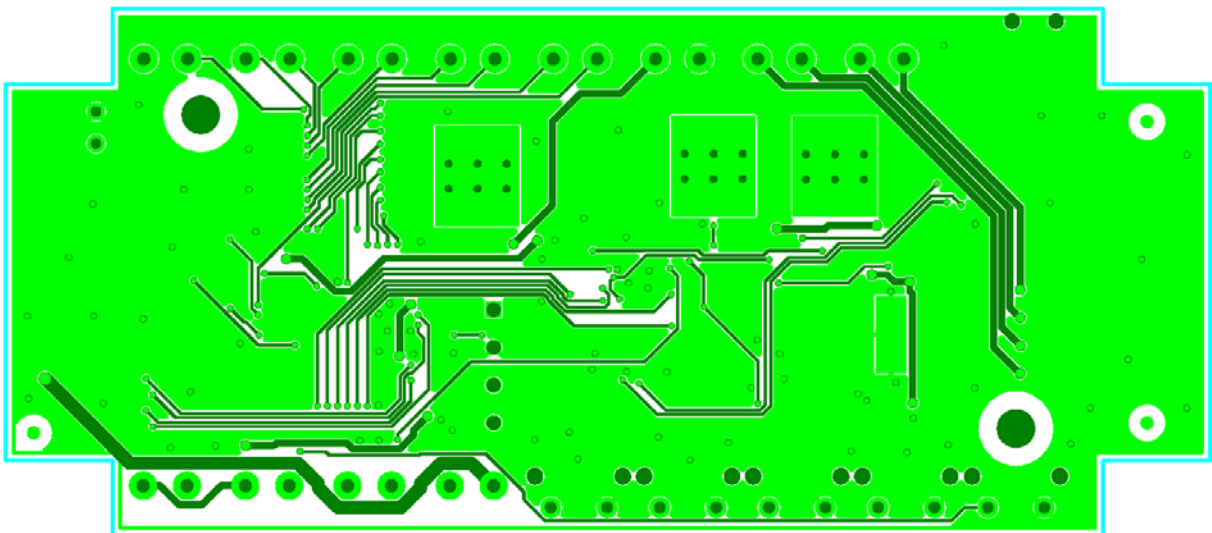
Teine disain õnnestus aga täielikult ühepoolsena, st. komponendid asuvad vaid pealmisel kihil. Mõningate komponentide jaoks leiti vajadust muuta nende jälgpinda standardist erinevaks ning neile lisada vaseala suurema jahutuse pakkumiseks. See on oluline pingeregulaatorite ning võimendi puhul. Läbiviikavasid ehk viasid kasutati minimaalselt, vaid niipalju kui oli vajadust. Komponenti läbiviikavade suurus sai valitud, tuginedes komponendile endale ning eelnevatele disainidele, mis kasutasid samu komponente, sedasi sai kindlustatud, et komponent augus ei loksu ega ole ka liiga kõvasti kinni. Ülemisel vasekihil jäeti läbilaotavate komponentide vasekrae minimaalseks, et oleks parem hiljem vaseradasid vedada. Alumisel kihil aga oli vasekrae minimaalselt 2 korda suurem puuraugu diameetrist.

Arvestada tuleb veel sellega, et tööstuslikuks tootmiseks on vajalik stentsiili tegemine. Selle jaoks, kas defineeritakse trükkplaadi disaini programmis pastamaski kiht või tekitatakse jootemaski gerberfailist 0.1mm vähendusega uus gerberfail, mis saab aluseks stentsiili valmimisele. Tööstuslikuks tootmiseks on, lisaks eelmainitule, vaja teenusepakkujale saata fail kõikide komponentide koordinaatidega. Polaarseste komponentide, nagu diodide, elektrolüüt- ja tantaalkondensatorite, mikroskeemide jne. puhul on oluline veel ära märkida nende nurk trükkplaadil. Ladumismasina programmi koostades kontrollitakse kõik üle, et ükski polaarne komponent valesi trükkplaadile ei satu. Kõik läbilaotavad komponendid aga joodetakse peale kas käsitsi või lainejootmisega. Üks olulisemaid detaile plaadil on ka usalduspunktid, mille abil saab täpne komponentide ladumine toimuda. Trükkplaadi disainis on usalduspunkti standardiks (IPC-7351) 1mm diameetriga ringikujuline ala, mille jootemaskivabastus on diameetriga 2mm. Usalduspunktid võetakse ladumismasina koordinaatide süsteemi aluseks. Suuremate mikroskeemide puhul kasutatakse ka mõõtmelalt väiksemaid usalduspunkte nende täpsemaks paigutamiseks. Tavaliselt on neid kaks ning nad asetsevad ümber mikrokiibi üksteise suhtes diagonaalselt.

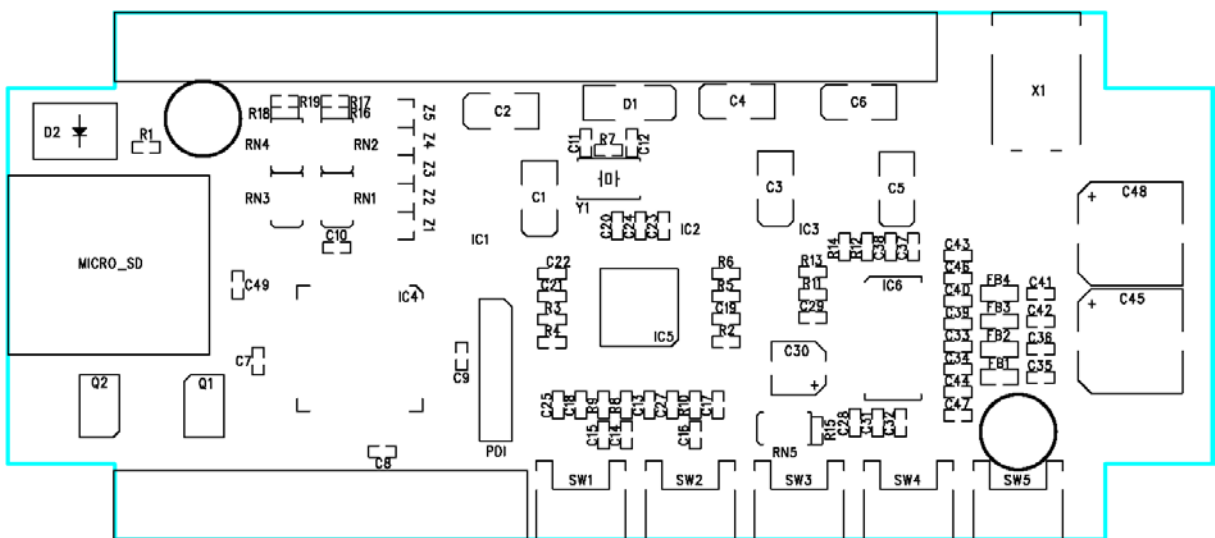
Järgnevalt on joonistel 7.2.1 – 7.2.5 välja toodud kõik olulised trükkpladijoonisid.



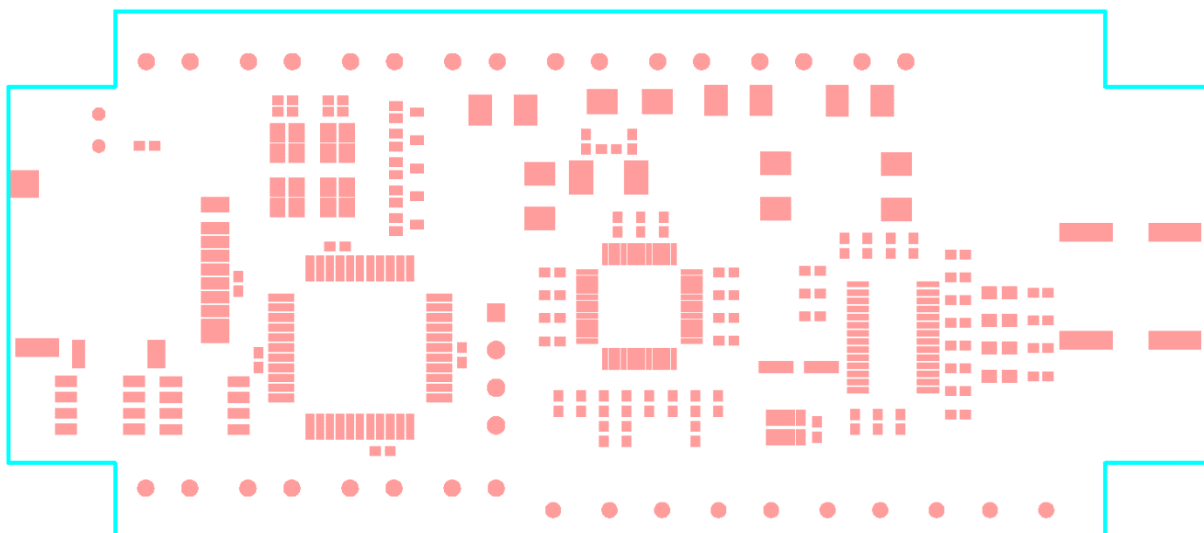
Joonis 7.2.1. MP3 mängija trükkplaadi ülemine vaskkiht



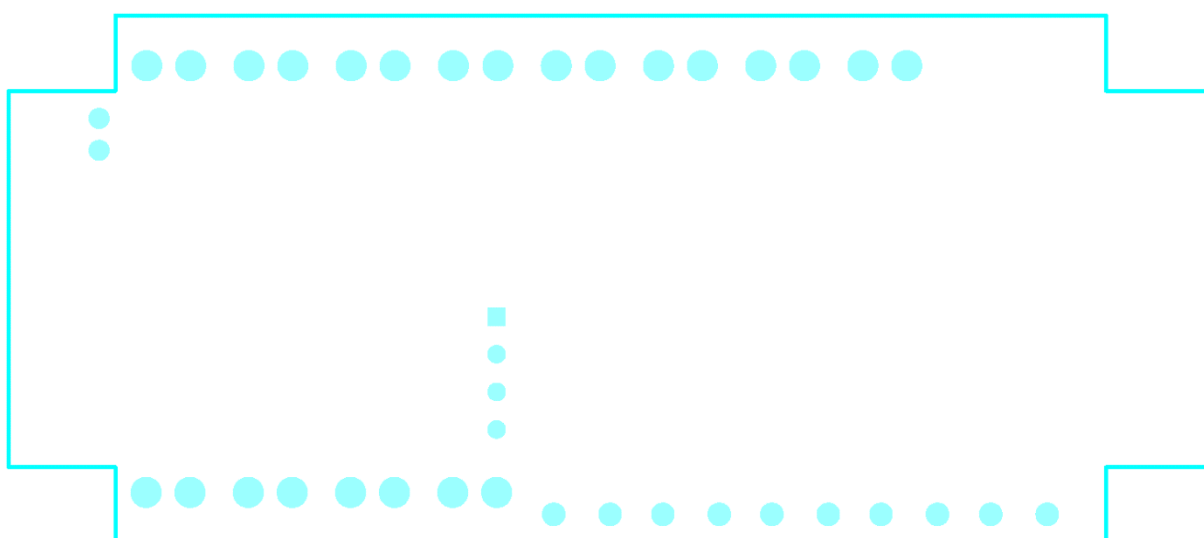
Joonis 7.2.2. MP3 mängija trükkplaadi alumine vaskkiht



Joonis 7.2.3. MP3 mängija trükkplaadi siiditrükk



Joonis 7.2.4. MP3 mängija trükkplaadi ülemine jootemask



Joonis 7.2.5. MP3 mängija trükkplaadi alumine jootemask

7.3. Riistvara muutuste ajalugu

Riistvara muutuste ajalugu on toodud tabelis 7.3.1. Riistvara muutuste piirid on tinglikud. Iga väike riistvaramuutus või komponendi asendamine ei toonud kaasa uut riistvara variandi numbrit, küll aga uue riistvara paranduse numbrit. Kui muudatusi oli juba rohkem ja need lubasid ka tarkvaralisi muudatusi, siis muutus ka riistvara variandi number.

Variante võib erinevatel põhjustel olla mitu, kuid variantide piires on nende viimaseks tootmiskõlblikuks versiooniks kõige hilisema riistvara paranduse numbriga skeem.

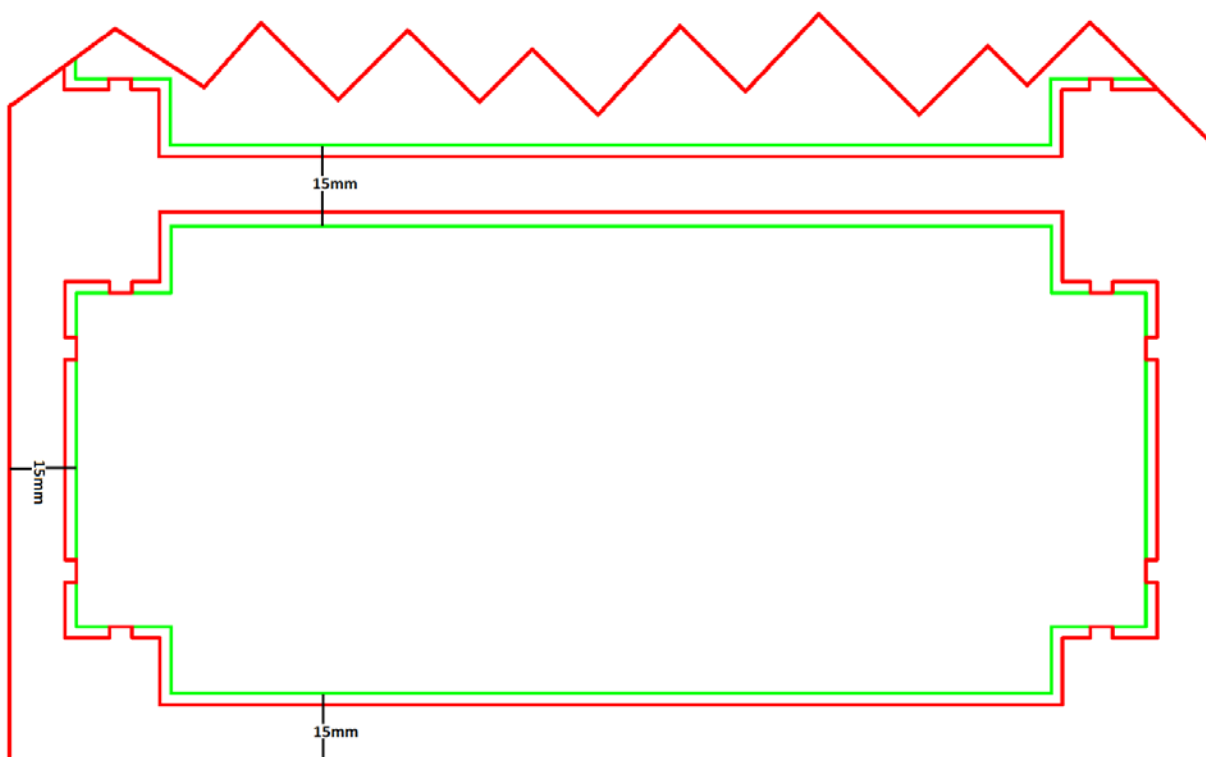
Tabel 7.3.1. Riistvaraversioonide ajalugu

HW version	Completed date	Responsible	Description
0.1	4.12.2013	JPO	Drawing the schematic, choosing components
0.2	5.12.2013	JPO	Component placement options
0.3	6.12.2013	JPO	IC's, Connectors, RZ network, Voltage regulators
0.4	8.12.2013	JPO	Tracing
0.5	9.12.2013	JPO	Finalizing layout
1.0	12.02.2014	JPO	Complete redesign, onesided component placement
1.1	13.02.2014	JPO	Additional decoupling capacitors for amplifier
1.2	14.02.2014	JPO	Changed component footprints for easier assembly, THD's were too loose in previous design
1.3	15.02.2014	JPO	Tracing and finalizing the layout
1.4	16.02.2014	JPO	Optimization of trace widths and component placement

7.4. Paneliseerimine

Paneliseerimise puhul ei järgitud standardeid vaid tugineti varasemate disainide käigus saadud kogemustele ning eelistustele. Kuna disainitava seadme trükkplaadi mõõtmed on 42mm x 95mm ning trükkplaadi paksuseks on 1.6mm siis on tema läbipaindumine samuti vähetõenäoline. Paneliseerimisel on oluline, et lahtifreesitavad kohad ei jääks ühenduspesade alla, kuna ühenduspesad ulatuvad üle trükkplaadi serva. Seega paneelile kinnitamiseks on vaba vaid trükkplaadi lühem külg. Paneliseerimisel on otstarbekas kasutada vaid freesimist. Paneeli serv on 15mm trükkplaadi servast, kahe trükkplaadi vahe on samuti 15mm ning paneeli servadel on usalduspunktid neljas nurgas. Paneelis on 5 trükkplaati. Samuti tuleb järgida topograafiat ning jätta paneeli servad vasega kaetuks.

Joonisel 7.4.1 on näha üldine paneliseerimise skeem.



Joonis 7.4.1. Paneliseerimise skeem

Terve paneeli mõõdud on 125mm x 300mm

8. Testimine

Selles peatükis vaadeldakse testimist jagades see kaheks: riist- ja tarkvara testimiseks. Testimise eesmärk on välja selgitada, kas seade vastab nii riistvaraliselt, kui tarkvaraliselt püstitatud nõuetele. Testimise meetodikaid on erinevaid. Riistvara testimise puhul on otstarbekam teha pisteline test nt. üks igast viiest seadmest testitakse ning ka siis võib teha valiku kasutatavatest testidest, mis on kõik kirjeldatud peatükis 8.2.

8.1. Tarkvara testimine

Tarkvara on jagatud funktsionaalseteks osadeks, alamprogrammideks, seega on seda ka lihtne testida ilma reaalse seadme olemasoluta. Tarkvaralise koodi tööd emuleerides saab talle anda sisendmuutujaid ning koodi sisse saab tekitada katkestuspunkte ja vaadelda igas katkestuspunktis valitud väljundmuutujate väärtuseid.

Sisendite testimisel antakse sisendmuutujale mingi väärtus ning vaadeldakse kas peafunktsioon väljastab SD kaardile üle SPI draiveri vastava päringu. Ühtlasi sisendite 1-4 aktiveerimisel vaadeldakse kas aktiveeritakse väljundid 1-4. Ühtlasi vaadeldakse kas suvalise sisendi puhul võetakse ühendust nii koodeki draiveriga, kui väljastatakse sisemise võimendi jaoks äratus.

Juhtnuppude puhul vaadeldakse, kas nendele vastava väärtuse andmine toob kaasa soovitud toimingud, mille käigus suheldakse koodeki draiveriga.

Edasine tarkvara testimine toimib ka reaalse seadme olemasolul kuna tarkvaraline simulaator ei pruugi kõige täpsemat tulemust anda ning seadmes olev tarkvara võib käituda seega ettearvamatult. Selleks saab kasutada AVR Dragon programmaatorit. Eespool on mainitud, et mikrokontroller kasutab Atmeli enda programmeerimise protokollid PDI, mis on mõeldud ka tarkvara koodi silumiseks. Silujat kasutades saab samuti tekitada katkestuspunkte koodis ning jälgida nüüd juba reaalseid väljundmuutujaid või hinnata seadme tööd vaatluse põhised.

8.2. Riistvara testimine

Riistvara testimise eelduseks on töötav tarkvara. Nende kahe koosmõjul on võimalik tuvastada ebatäpsusi tarkvaras, millele tähelepanu pöörata.

Riistvara testimise meetodika hõlmab endas kõikide sisendite töökorra kontrollimist, juhtnuppude töökorra kontrollimist, väljundite töökorra kontrollimist ning nende koormustesti, heliväljundi olemasolu nii kõrvaklapiväljundis kui ka sisemise võimendi väljundis.

Esialgse prototüübi testimise käigus selgus nii mõnigi disainiviga. Kõige suurem probleem oli võimendi lahtidestuskondensaatoritega, mis said osaliselt ruumipuudusest tingituna liiga väikesed valitud ning seade ei töötanud eesmärgipäraselt. Teine suurem viga ilmnes koodekiga, mis kuumenes üle kuna oli kohe mikrokontrolleri all plaadi teisel küljel. Need ajendasid disaini kriitiliselt üle vaatama ning kuna THE Systems OÜ'l oli juba plaan kõik tulevikus tehtavad arendused ka tööstusliku tootmise jaoks ette valmistada, otsustati ka MP3 mängija riistvaraline pool uuesti disainida.

8.2.1. Toitepinge miinimumi test

Eesmärgid:

Seade töötab edukalt ka miinimumpingel 9.2V. Seade peab olema võimeline miinimumpingel tuvastama sisendsignaale ning väljastama helisignaali.

Eeldused:

Välise toiteallika pinge püsib vahemikus 9.2V-16.2V.

Testi pikkus:

1 min.

Kasutatavad seadmed:

Labori toiteplokk, voltmeeter, signaaligeneraator.

Testi käik:

Seade ühendatakse toiteploki. Toiteploki seatakse miinimumpinge 9.2V. Genereeritakse signaaligeneraatoriga sisendimpulss ja oodatakse seadme reaktsiooni sellele impulsile.

Oodatavad tulemused:

Seade töötab korrektselt. Sisendsignaale tuvastatakse ning ka helisignaali on kuuldav.

8.2.2. Toitepinge maksimumi test

Eesmärgid:

Seade töötab ka maksimumpingel 16.2V. Seade peab olema võimeline maksimumpingel tuvastama sisendsignaale ning väljastama helisignaali.

Eeldused:

Välise toiteallika pinge ei ületa 16.2V.

Testi pikkus:

1 min.

Kasutatavad seadmed:

Labori toiteplokk, voltmeeter, signaaligeneraator.

Testi käik:

Seade ühendatakse toiteploki. Toiteploki seatakse maksimumpinge 16.2V. Genereeritakse signaaligeneraatoriga sisendimpulss ja oodatakse seadme reaktsiooni sellele impulsile.

Oodatavad tulemused:

Seade töötab korrektselt. Sisendsignaale tuvastatakse ning ka helisignaali on kuuldav.

8.2.3. Skeemi voolutarbe test

Eesmärgid:

Seade tarbib nominaalpingel voolu kuni ~1500mA.

Eeldused:

Seade ei ületa nominaalvoolu.

Testi pikkus:

1 min.

Kasutatavad seadmed:

Laboritoiteplokk, ampermeeter, signaaligeneraator.

Testi käik:

Seade ühendatakse toiteploki läbi ampermeetri ja seatakse toiteploki pinge nimipingele 12V. Genereeritakse signaaligeneraatoriga sisendid ja loetakse ampermeetrilt maksimumnäit 1 min jooksul.

Oodatavad tulemused:

Ampermeetri näit jääb oodatud piiridesse. Voolutugevus ei ületa 1500mA.

8.2.4. Sisendsignaali amplituudvahemiku test

Eesmärgid:

Sisenditel olev pingeline: 3.3V – 28.3V

Eeldused:

Sisendseadme toiteallikas eraldi MP3 mängija toitest.

Maandused ühendatud kokku.

Sisendseadme väline toiteallikas peab jääma vahemikku 3.3 – 28.3V või võtma toidet MP3 enda välisest toiteallikast mispuhul on pingevahemik 9.2V – 16.2V.

Testi pikkus:

2 min.

Kasutatavad seadmed:

Laboritoiteplokk, voltmeeter, signaaligeneraator

Testi käik:

Signaaligeneraatoriga genereeritakse üks sisend algul miinimumamplituudiga ning seejärel maksimumamplituudiga ning jälgitakse kas seade töötab ootuspäraselt.

Oodatavad tulemused:

Sisendsignaale tuvastatakse.

8.2.5. Nupulevajutuse test

Eesmärgid:

Nupu all hoidmine ning kestev järjestikune nupulevajutus ei too kaasa ebasoovitavaid olekuid.

Eeldused:

Seade on lülitatud voluvõrku.

Testi pikkus:

3 min

Testi käik:

Hoitakse all nuppu vähemalt 3 sek ning järjepidevalt vajutatakse sedasi kõiki nuppe 3 minuti jooksul. See ei tohi kaasa tuua mingit lisafunktsionaalsust peale tarkvaras seadistatud juhtude ega mõjutada seadme tööd muul viisil.

Oodatavad tulemused:

Nuppude all hoidmisel mõju puudub.

8.2.6. Samaaegne mitmele nupule vajutuse test

Eesmärgid:

Samaaegselt mitmele nupule vajutamine ei tohi seadet viia määramata olekusse. Mikrokontroller peab reageerima sisendile, mille ta tuvastas kõige esimesena.

Eeldused:

Seade on lülitatud vooluvõrku.

Testi pikkus:

1 min

Testi käik:

Hoitakse 3 sekundi jooksul korraga all nuppe [Vol+] ja [Vol-]; [Vol+] ja [Mode]; [Vol+] ja [Prev]; [Vol+] ja [Next]; [Vol-] ja [Mode]; [Vol-] ja [Prev]; [Vol-] ja [Next]; [Mode] ja [Prev]; [Mode] ja [Next]; [Prev] ja [Next].

Oodatavad tulemused:

Kahe nupu samaaegsel allavajutamisel loetakse sisse vajutus, mille mikrokontroller tuvastab esimesena.

8.2.7. Väljundite koormuse test

Eesmärgid:

Väljundi täisvõimsusel töötamine ei tohi kuidagi mõjutada MP3 mängija enda tööd.

Terveks peab jääma väljundahel.

Eeldused:

MP3 mängija välise toiteallika pinge on 12V

Väliseks seadmeks on 60W LED valgusti

Testi pikkus:

1 tund

Testi käik:

Väljundis on 12V toitepingega LED valgusti. Väljundit hoitakse avatuna üks tund, mille aja jooksul jälgitakse seadme tööd, voolutarvet, selle testiga piiri peale viidud MP3 mängija komponentide temperatuuri.

Oodatavad tulemused:

Olenemata töös oldud ajast jääb väljundlülituse temperatuur normaalse piiresse.

8.2.8. Sisendpesade koormustest

Eesmärgid:

Kõik sisendpesad: SD kaardi pesa, 3.5mm telefonipistiku pesa ning kõik sisend/väljundpesad peavad taluma korduvat kasutamist ilma trükkplaadil olevaid jooteid kahjustamata.

Eeldused:

Seade ei ole vooluvõrgus.

Seade on korpustatud.

Testi pikkus:

5 min

Testi käik:

Esmalt kasutatakse suvalist mikro SD kaarti ning ühendatakse ta seadme külge ning siis võetakse välja ning korratakse tegevust. Sama toimub 3.5mm telefonipistiku pesaga. Kuna ülejäänud sisendeid on palju siis on otstarbekam teha pisteline test, kus valitakse välja 3 suvalist pesa ning testitakse neid identsel meetodil nagu siin kirjeldatud.

Oodatavad tulemused:

Seadme kasutust saavad komponendid taluvad mehhaanilist pinget piisavalt hästi.

8.2.9. Heliväljundi test

Eesmärgid:

Heliväljund on olemas nii kõrvaklapiväljundis kui ka võimendi väljundis.

Eeldused:

Seade on vooluvõrgus. Seadmel on peal kas täielik või vaid testimiseks mõeldud tarkvara.

Testi pikkus:

1 min

Testi käik:

Seadmesse sisestatakse mikro SD kaart suvaliste helifailidega. Vajutades nuppe Next ja Prev pannakse tööle suvaline helifail SD kaardilt. Veendutakse heliväljundi olemasolus.

Oodatavad tulemused:

Heli mängib nii kõrvaklapiväljundist kui ka võimendi väljundist.

9. Majanduslik ülevaade

9.1. Komponentide nimekiri

Järgnevalt on välja toodud kõikide disainis leiduvate komponentide detailsed kirjeldused (i.k. Bill of Material – BOM) koos hetkehindadega. Kuna tootmine on siiski esialgu piisavalt väike, on enamasti eeldatud, et kõik komponendid tellitakse Farnellist. Suuremamahulise tootmise puhul aga on Farnelli hinnad siiski kallimate killast ning siis tuleks vaadata Digikey, Arrows'i või Mouser'i poole, selles järjekorras. Kõik hinnad on ühe komponendi hinnad, arvestusega komponentide hulga tarnimist 250 seadme valmistamiseks.

9.1.1. Integraalskeemid

Kirjeldus	Korpus	Jõudlus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
Pingeregulaator +3.3V	SOT223	$V_{IN(max)} = 15V$ $I_{OUT} = 800mA$	Taiwan Semiconductor	TS1117BCW33	1	IC1	Mouser: 821- TS1117BCW33	€0.27
Pingeregulaator +3.0V	SOT223	$V_{IN(min)} = 6V$ $V_{IN(max)} = 30V$ $I_{OUT} = 70mA$	Microchip Technology	MCP1790-3002E/DB	1	IC2	Mouser: 579- MCP1790- 3002E/DB	€0.44
Pingeregulaator +2.5V	SOT223	$V_{IN(max)} = 18V$ $I_{OUT} < 20mA$	STMicroelectronics	LD1117S25CTR	1	IC3	Mouser: 511- LD1117S25C	€0.167
Mikrokontroller , 8bit, AVR	TQFP-44		Atmel	ATXmega16A4	1	IC4	Farnell: 1748552	€2.83
MP3 koodek	LQFP-48		VLSI Solutions	VS1003B-L	1	IC5	VLSI	€5.2
D-klassi võimendi	HTSSOP-28		Texas Instruments	TPA3110D2PWP	1	IC6	Farnell: 1762986	€1.27

9.1.2. Dioidid ja transistorid

Kirjeldus	Korpus	Jõudlus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
Dioid, Standard	SMD	$V_{rrm(max)} = 1kV$ $V_F = 1.15V$	Vishay	BYG10M-E3/TR	1	D1	Farnell: 9549170	€0.144
Dioid, Stabilitron, Kaksik korpus, ühine anood	SOT663	$V_Z = 3.3V$ $P_Z = 425mW$	NXP	BZB984-C3V3	5	Z1-5	Farnell: 8735328	€0.066
MOSFET, kaksik korpus N-kanal	SOIC8	$V_{GS} = 60V$ $I_D = 5A$	ROHM Semiconductor	SP8K1TB	2	Q1-2	Mouser: 755- SP8K1TB	€0.368
LED, roheline	3mm	$V_F = 2.1V$ $I_F = 20mA$	Multicomp	703-0087	1	D2	Farnell: 2112096	€0.108

9.1.3. Pesad ja lülitid

Kirjeldus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
Pesa, horisontaalne, 16 kontakti	LHE	LHE2EDGV-3.5-16	1	J1	LHE: LHE2EDGV-3.5-16	€0.14
Pesa, horisontaalne, 8 kontakti	LHE	LHE2EDGV-3.5-8	1	J2	LHE: LHE2EDGV-3.5-8	€0.07
3.5mm pesa, 4 kontakti	Lumberg	1503 13 VP3	1	X1	Farnell: 1368640	€0.75
LED hoidja, horisontaalne	Multicomp	LED 2F	1	D2	Farnell: 9555420	€0.056
Micro SD kaardi pesa	Hirose	DM3BT-DSF-PEJS	1	MICRO_SD	Farnell: 1764375	€1.29
Mikrolüliti, horisontaalne	TE Connectivity	FSMRA4JH04	5	SW1-5	Farnell: 1813692	€0.174

9.1.4. Kondensaatorid

Kirjeldus	Väärtus	Korpus	Jõudlus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
SMD	33pF	0402	50V, COG/NPO	Multicomp	MC0402N330J500CT	2	C11-12	Farnell: 1758955RL	€0.005
SMD	1nF	0402	50V, X7R	Multicomp	MC0402B102K500CT	6	C34-35, C40-42, C45	Farnell: 1758991RL	€0.004
SMD	10nF	0402	25V, X7R	Multicomp	MC0402B103K250CT	5	C14-18	Farnell: 1758924RL	€0.005
SMD	100nF	0402	16V, X5R	Multicomp	MC0402X104K160CT	15	C7-10, C19-26, C43, C46, C48	Farnell: 1759388RL	€0.005
SMD	220nF	0402	16V, X5R	Multicomp	MC0402X224K160CT	10	C27-28, C30-33, C36-39	Farnell: 1759389RL	€0.009
SMD	1µF	0402	6.3V, X5R	Multicomp	MC0402X105K6R3CT	1	C13	Farnell: 1759375RL	€0.008
EL	10µF	B	35V	Panasonic	EEE1VA100WAR	1	C29	Farnell: 2326168RL	€0.101
EL	470µF	F	16V	Panasonic	EEE1CA471UAP	2	C44, C47	Farnell: 2326124RL	€0.25
Tantaal	10µF	SMB	16V	Multicomp	MCCTB106M016	6	C1-6	Farnell: 1190117RL	€0.125

9.1.5. Ferriidid ja kristallid

Kirjeldus	Väärtus	Korpus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
Ferriithelmes	120Ω @ 100MHz	0603	TDK	MMZ1608Y121B	4	FB1-4	Farnell: 1669711RL	€0.023
Kvartskristall	12.288MHz	5.0x3.2mm	TXC	7A-12.288MAAJ-T	1	Y1	Farnell: 1841941RL	€0.52

9.1.6. Takistid

Kirjeldus	Väärtus	Korpus	Jõudlus	Tootja	Tootja kood	Kogus	Viide skeemile	Tellimuskood	Hind (1tk)
SMD	20Ω	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X20R0FTL	3	R8-10	Farnell: 2072765RL	€0.004
SMD	22Ω	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X22R0FTL	2	R11, R14	Farnell: 2072797RL	€0.004
SMD	1kΩ	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X1001FTL	1	R1	Farnell: 2072516RL	€0.005
SMD	10kΩ	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X1002FTL	1	R15	Farnell: 2072517RL	€0.005
SMD	47kΩ	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X4702FTL	6	R12-13, R16-19	Farnell: 2073065RL	€0.003
SMD	100kΩ	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X1003FTL	5	R2-6	Farnell: 2072519RL	€0.003
SMD	1MΩ	0402	62.5mW	Multicomp	MCMR04X1004FTL	1	R7	Farnell: 2072521RL	€0.005
SMD Array	10kΩ	4x0402	31mW	Panasonic	EXBN8V103JX	5	RN1-RN5	Farnell: 2060145RL	€0.013

9.1.7. Teise taseme komponendid

Kirjeldus	Tootja	Kogus	Hind(1tk)
Trükkplaat, paneliseeritud (5 PCB'd)	Itead Intelligent Systems	250	€1.5
Korpus	Hammond	250	€3.84
Korpuse freesimine	Red Hat	250	€0.4
Kruvid, DIN7981, 2.2mmx4.5mm	Baltic Bol	500	€0.0176
Pistikud pesadele	LHE	3000	€0.03
Stentsiil	Rantelon	1	€500
Ladumismasina programm ning trükkplaadi masinladumine + käsimontaaž	Rantelon	250	€21.55
Korpustamine	Rantelon	250	€2.5

10. Majanduslik hinnang

Majandusliku hinnangu tegemisel on lähtunud kõikidest loogilistest kuludest: komponentide hind, tööstusliku tootmise kulud, kulud tagamaks kaubandusliku välimuse, mille summeerimisel tekib tootele omahind.

Müügi tarbeks väljaspoole ettevõtet lisandub hinnale proportsionaalselt ka disaini peale kulunud aja tasustamine, EMC testide läbiviimiseks tehtud kulutused, Eesti Vabariigis kehtiv käibemaksu protsent ning THE Systems OÜ oma juurdehindlus.

Kõik hinnad komponentidele ja kulud tootmiseks eeldavad üpriski suurt kohest väljaminekut, kuid parima aimduse toote hinnast annab kui kõik kulud arvestada ühe seadme valmimise kuluna, pidades silmas esialgset toodetavat kogust.

Kõik komponendid ühe trükkplaadi valmimiseks lähevad kokku maksma €16.99. 250 trükkplaadi tootmine paneliseeritult (paneelis 5 trükkplaati) koos postikuluga läheb maksma €374.95, mis teeb ühe trükkplaadi hinnaks €1.49. Korpustamine ning sellega seotud kulud lähevad maksma €7.14 ühe toote valmimiseks. Trükkplaadi masinladumine ning käsimontaaž ning sellega kaasnevad kulud kokku nõuavad ühe seadme valmimiseks €23.55. Seega toote omahinnaks kujuneb €49.17. Kuna masinaldumiseks on tarvis teha stentsiil ning masinladumise programm, siis eeldusel, et trükiplaadi disain ei muutu, nende hinnad lahutuvad järgnevast tootmismahust, mis puhul oleks ühe toote omahinnaks €45.19.

Müügi tarbeks aga lisanduvad omahinnale ka eelpool mainitud kulud. Jällegi arvestatakse ka siin toodetud kogust ning arvutatakse vastavalt hind ühe seadme valmimiseks. Riistvara disainile, prototüüpimisele ning esialgsele testimisele kulunud aeg on 103 tundi. Ühe tunni maksumuseks arvestatakse €5, seega riistvara disaini peale kokku on kulunud €515, mis teeb ühe seadme valmimise kuluks €2.26. Tarkvara disainile läks märkimisväärselt suurem aeg 374 tundi. Tarkvara disaini ühe tunni hinnaks on €7, mis teeb tarkvaradisaini kogumaksumuseks €2618 ehk €10.47 ühe plaadi valmimise jaoks.

EMC testimiseks Soomes küsitakse ühe testi eest suurusjärgus €3000, mis on küll alati läbiräägitav ning oleneb töö mahust ning seadme enda keerukusest. Esialgse hinna puhul aga tuleks ühe plaadi valmimiseks vaja kulutada €12. Kõike eelnevalt arvesse võttes lisab THE Systems oma seadmele ka

juurdehindluse arvestades hetkelist olukorda turul, ettevõtte mainet ning huvi ettevõtte toodangu vastu. Üldiselt on juurdehindlus suurusjärgus 125% kuid arvestatakse ka töövahendite kulu, võimalikke muutusi komponentide tärnel, komponendi tootjate tuleviku hinnapoliitikat ning sarnaste toodete hetkelist turuhinda, kuna konkurentidest liiga madal hind tekitab umbusaldust ning liiga palju kõrgem hind tõrjub võimalikud kliendid konkurentide poole. Hinnale lisandub ka Eesti Vabariigis kehtiv käibemaks 20% ning hinnapoliitiliselt ümardatakse saadud summa lähima kümneliseni. Seega kõike arvesse võttes kujuneb ühe toote müügihinnaks ligikaudu €200, mis on konkurentide hindadega võrreldes mõnevõrra madalam.

Tuleb ka arvestada, et kõik tootmiskulud on esialgsed, ning kõik hinnad võivad muutuda olenevalt reaalsest lõplikust tootmisprotsessist.

Tulevikuvisioon

Esialsed prototüüpimise ja testimise tulemused on väga rahuldavad. Lähiajal seadme trükiplaadi disainis ega ka tarkvaras mingeid muutusi ei tule. Samas mõningad ideed on tekkinud seoses võimalike tulevikus tehtavate muudatuste näol.

Esiteks vastandpolaarsuse kaitse võiks olla lihtsa diodi asemel PTC kaitse ning 12V stabilitron. Vastupingestamisel või ülepingestamisel, läbib kogu üleliigne vool stabilitroni, mille tulemusel hakkab termokaitse soojenema, jõudes lõpuks punktini, kus ta rakendub ning vooluring katkeb. See vajaks täpsemaid arvutusi õigete komponentide valikul, et mitte valede komponentide tõttu sisemist elektroonikat kahjustada ekstreemtingimuste ilmnemisel.

Kuna seadme väljundis võib kasutada ka releesid, siis võiks releede vastuvooludiodid olla juba seadme enda trükkplaadil. Samas releede asemel võib kasutada ka sümistore või türistore, mis vastuvooludiodi ei vaja. Hetkerakendustes on väljundis relee kasutamine väga harv juhus, kuid väljundite kaitseks pandav vastuvooludiodid oleks väga hea praktika ning ettevaatusabinõu soovimatute tagajärgede vältimiseks nt. väljundseadme induktiivsustest tingitud mõjude vastu.

Kuna on ilmnunud tõsiasi, et suure tõenäosusega hakkavad varsti MCU'd turult kaduma, nende iganenud tehnoloogia tõttu, võiks vaadata alternatiive. Juba praegu on 32bitise struktuuriga ARM mikrokontrollerid hinna poolest võrdväärset hetkel turul olevate MCU'dega. See vajaks aga põhjalikumat analüüsi, ning tooks kaasa endaga ümberõppimise ning uude programmeerimiskeskonda sulandumise. Lisaks sellele on ARM mikrokontrollerite andmelehed palju viletsamalt koostatud kui aastakümneid turul olnud MCU'de andmelehed, mida on väga lihtne lugeda.

Kuna hetkerakendustes pole lisafunktsionaalsust vaja, võib sellest tulevikus sellegipoolest abi olla. Seadme erirakenduste abil saaks uurida erinevate lisafunktsionaalsuste pädevuse üle ning neid hiljem uues versioonis alaliselt kaasata. Näiteks võiks väljundid olla mitmekesisemad ja omada erinevaid režiime mille vahel valida. Eespool mainitud PWM efektid saaks kõik koondada ühte alamprogrammi ning sarnaselt heli taasesituse režiimide valikuga ka väljundefektide vahel valida.

Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli disainida ja realiseerida MP3 mängija professionaalseks kasutamiseks. Töö tulemusena valmis täielikult töötava tark- ja riistvaraga süsteem, mis vastas kõikidele algul püstitatud ootustele, peale disainis tehtud vigadele, mis leidsid ka lahenduse. Funktsionaalselt oli seade täielikult töökorras ning toimis eesmärgipäraselt. Töö käigus arvestati paljude eri standarditega tarkvara-, skeemi- ning trükkplaaditehnilise disaini tegemisel. Arvestati ka testimise käigus ilmnenu vigadega, mille valguses uuendati trükkplaadi disaini. Töö käigus loobuti esialgsest plaanist seadet vaid oma tarbeks käsitsi joota ning korpustada ning telliti uus disain, mis vastaks tööstusliku tootmise nõuetele. Arenduses lähtuti parimast inseneripraktikast ja trükkplaadi disaini nõuetest. Tarkvara kirjutati C keeles ning täiturseadmeks oli Atmeli mikroprotsessor ATXmega16A4.

See lõputöö koosneb kümnest peatükist. Esimeses tutvustatakse selles töös disainitavale seadmele sarnaseid, juba turul olevaid seadmeid. Edasi tutvustatakse selle MP3 mängija põhilisi projekteerimise põhimõtteid, millele järgneb disainitava seadme analüüs. Neljandas peatükis esitatakse seadme skeem ning sellele järgnevas peatükis ka skeemitehnilised arvutused. Seejärel tuuakse välja Tarkvara projekteerimise põhipunktid koos kasutatava tarkvara üldise kirjeldusega. Sellele järgneb trükkplaadi disain ning pärast ka peatükk testimise kohta. Tööd jääb lõpetama seadme majanduslik ülevaade ning majanduslik hinnang.

Märksõnad: MP3, professionaalne, integreeritud võimendi, parim inseneripraktika, tööstuslik disain

Summary

The purpose of this thesis was to design a working prototype of an MP3 player for professional use. In the course of this thesis a fully operational system was built that answered to all of the expectations that were established in the beginning, besides the now solved mistakes made in the first design. During this design process various standard were used, for both schematic, layout and software design. All errors found during the testing phase were addressed and the layout design was adjusted. Also the first ideas about manufacturing for self-use only were discarded and a new design was ordered to accommodate the design for industrial manufacturing process. The best engineering practices and requirements for PCB design were followed in the desing process. The software was written in C for an Atmel microprocessor ATXmega16A4.

This thesis consists of 10 chapters. The first chapter will introduce you to similar products to the one described in this thesis, that are already in the market. This is followed by a description in to the use of various design practices, after which a full analysis of the design will be made. The fourth chapter brings you the used schematic, followed by calculations supporting the design. After that the software design will be introduced with an overview of the used methods and software itself. All that is followed by the layout design and testing of the design. The final two chapters will show an economic report and assessment.

Keywords: MP3, professional, integrated amplifier, best engineering practices, industrial design.

Kasutatud allikad

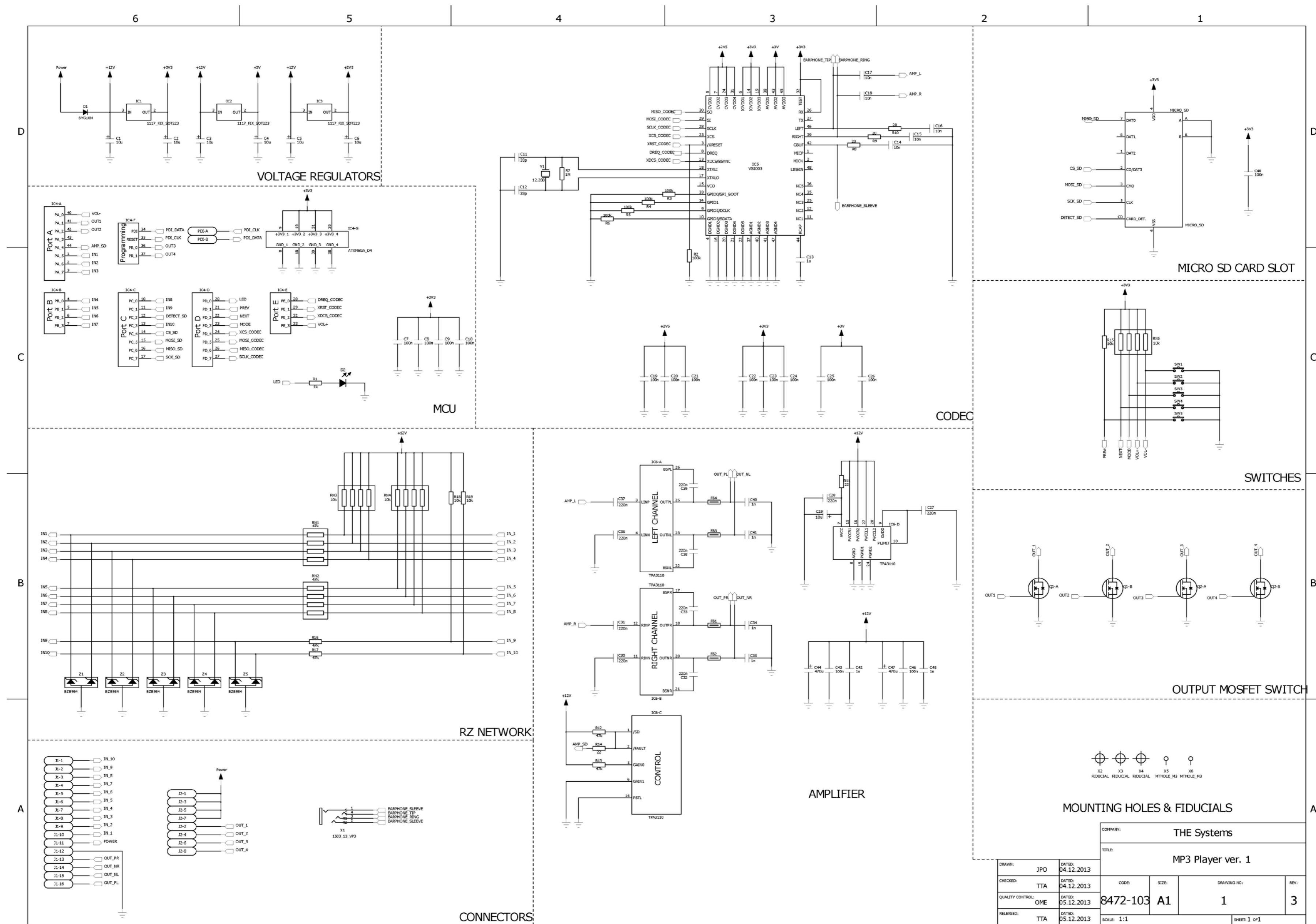
1. http://www.inout-digital.com/prodotti_scheda.php?id=5 (07.06.2014)
2. <http://www.idrocontrol.com/din-player-mp3-3m.html> (07.06.2014)
3. <http://matrexbuy.weebly.com/mp3-player.html> (07.06.2014)
4. <http://web.mit.edu/sp.784/www/DOCUMENTS/Process%20of%20Design%20%28Slocum,%20MIT%29.pdf> (07.06.2014)
5. http://www.atmel.com/Images/Atmel-8069-8-and-16-bit-AVR-AMEGA-A4-Microcontrollers_Datasheet.pdf (07.06.2014)
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR (07.06.2014)
7. <http://www.vlsi.fi/fileadmin/datasheets/vs1003.pdf> (07.06.2014)
8. <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa3110d2.pdf> (07.06.2014)
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital#Power_consumption (07.06.2014)
10. http://www.mouser.com/ds/2/348/rohm_sp8k1-316220.pdf (07.06.2014)
11. http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BZB984_SERIES.pdf (07.06.2014)
12. http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_7.html (07.06.2014)
13. Paynter, R.T.: Introductory Electronic Devices and Circuits - Conventional Flow Version, 6th ed., 2002
14. http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus (07.06.2014)
15. <http://www.atmel.com/tools/atmelstudio.aspx> (07.06.2014)
16. <http://imall.iteadstudio.com/open-pcb/pcb-prototyping/im120418002.html> (07.06.2014)
17. Brandner PCB: „Kuidas projekteerida trükkplaati, mida saaks probleemideta toota?“, 2014
18. http://www.dcc.ttu.ee/lap/lap5711/lap5711_3.pdf (07.06.2014)

Lisa 1. FRDPARRC tabel

Funktsionaalsed nõuded (sündmused)	Disaini parameetrid (ideed)	Analüüs	Viited	Riskid	Vastumeetmed
1.MP3 dekodeerimine	1a. Kasutada vastavat mikroskeemi 1b. Kasutada integreeritavat moodulit	1a. Riistvara maht suureneb, seega ka hind suureneb. Ühel plaadil olev disain annab aga selgeid eeliseid ning võimaldab disainiprotsessi käigus keskenduda just nendele tunnusoontele, mida vajatakse lubades välja jätta mittevajalikke lisasid. 1b. Moodul on juba valmis seade ning selle jaoks ei ole vaja seadme trükiplaadile lisada mingeid tööks vajalikke komponente.	Disainijuhised, Koodeki andmeleht.	1a1. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (keskmine risk). 1a2. Võimalik, et võib vaja minna koodeki tarkvaralist programmeerimist heli töötlemiseks (väike risk). 1b1. Moodulil võib olla ebavajalikke lisasid nagu nt. mikrofone sisend, mis jääb kasutusesta (kõrge risk). 1b2. Paljudel moodulitel on kõrvaklapiväljund juba mooduliplaadil, muutes keeruliseks korpuse disaini ning pikemas perspektiivis ei oleks selline lahendus piisavalt robustne (kõrge risk). 1b3. Moodul on läbilaotav komponent ning tootmises tuleb ta käsitsi plaadile joota, kuna tema jaoks pesa kasutamine ei taga piisavat mehhaanilist töökindlust (kõrge risk). 1b4. Kuna moodulil on lisafunktsioone, siis tuleb teda enne plaadile integreerimist eelnevalt ümber ehitada (kõrge risk).	1a1. Leida odava hinnaga komponendid. 1a2. Kasutada MCU võimalusi elementaarseks helitöötlemiseks. 1b1. Leida vajadustele vastav moodul. 1b2. Leida moodul millel liiniväljundi jaoks vaja välist pesa. 1b3. Vältimatu 1b4. Leida vajadustele vastav moodul.
2. Andmete ülekanne	2a. Kasutada USB protokoll. 2b. Kasutada mikro SD kaarti	2a. USB protokoll vajab lisaks välisele kontrolleri ka lisatoidet. ATXmega16A4U sisaldab endas küll sisemist USB draiverit, kuid see vajaks lisanduvat tarkvaralist osa. Samuti vajab USB protokoll trükiplaaditehniliselt erilahenemist. 2b. SD kaardi kasutamiseks on mikrokontrolleri poolt kõik võimalused olemas. SD kaart on väike ning selle kasutamine disainis ei vaja trükiplaaditehnilisi erinõudeid.	Disainijuhised, rakendusjoonised, mikrokontrolleri andmeleht	2a1. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (kõrge risk). 2a2. Tarkvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (kõrge risk). 2a3. Trükiplaaditehnilised erinõuded vähendavad kasutatavat trükiplaadi pindala (kõrge risk). 2b1. SD kaartidel on kohati ühilduvuse probleem, ning antud seade ei pruugi vanemaid SD kaarte lugeda (madal risk) 2b2. Mikrokontroller ei pruugi tuvastada liiga suure mälumahuga SD kaarte ning seade ei lähe tööle (madal risk) 2b3. SD kaardi kirjutajad pole nii levinud kui USB andmekandjate kirjutajad, mis on igal arvutil (keskmine risk)	2a1. Kasutada mikrokontrollerit millel on sisemine USB tugi. 2a2. Pole teada 2a3. Vältimatu 2b1. Valida SD kaart teadlikult 2b2. Valida SD kaart süsteemi võimalusi silmas pidades. 2b3. Muretseda SD kaardi kirjutaja
3. Helivõimendus	3a. Kasutada välist võimendit 3b. Kasutada sisse ehitatud võimendit	3a. Väliste võimenduse eeliseks on võimendist endast olenevalt suurem väljund helivõimsus. Kuid rakenduses lisandub üks seade ning temale ka toide. 3b. Sisse ehitatud võimendi peaks olema D-klassi võimendi, mille väljundvõimsus pole kuigi suur kuid see eest on tervikune kogu süsteem kompaktnem.	Disainijuhised, Koodeki andmeleht	3a1. Väline helivõimendi ei pruugi ühilduda MP3 mängija väljundiga piisavalt hästi (madal risk) 3a2. Väline helivõimendi võtab liigselt ruumi (keskmine risk) 3b1. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (keskmine risk). 3b2. Sisemine helivõimendi ei oma piisavalt suurt võimendust (keskmine risk)	3a1. Valida väline helivõimendi kvaliteetsetelt tootjatelt 3a2. Teha kompromiss võimendi füüsiliste mõõtmete ja helivõimsuse vahel. 3b1. Leida selline sisemine võimendi, millel väliste komponentide arv ning neile seatud tingimused on kõige soodsamad. 3b2. Pole teada
4. Sisendsignaali sobitamine	4a. takisti-stabiiltron ahel.	4a. Takisti stabiiltron ahel on piiratud kasutatavatest	Rakendusjoonised, eelnevad disainid	4a1. Stabiiltron rikneb ning kahjustab skeemi (keskmine risk)	4a1. Valida stabiiltronid varuga, selliselt et

	4b optiline lahtisidustus	stabilitrionides, mis väikeses korpuses ei oma väga suurt võimsustegurit. 4b. Optiline lahtisidustus on turvaline kuid võtab trükkplaadi disainis palju ruumi ning suurendab disaini maksumust.		4b1. Optron rikneb ning seadme väljund enam ei reageeri (madal risk) 4b2. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (kõrge risk).	maksimaalne võimalik sisendpinge oleks palju suurem tegelikust kasutatavast sisendpingest. 4b1. Valida optronile läbimõeldud väärtusega voolu piirav takisti. 4b2. Leida võimalikult väikeses korpuses, võimalikult väikese hinnaga optron.
5. Väljundsignaali tekitamine	5. MOSFET lüliti	5. MOSFET lüliti on mitmekülgne ning neid leidub väikeses korpuses ning võrdlemisi võimsaid.	Rakendusjoonised, eelnevad disainid	5. MOSFET ei kannata temast läbivat voolu ning rikneb (keskmine risk)	5. Valida MOSFET selline, millel on sisemine temperatuuri kaitse, ülepingekaitse ja ülevoolukaitse.
6. Helivaljuse reguleerimine	6a. Väline skeem koodeki juhtimiseks 6b. Mikrokontrolleri juhitud helivaljuse reguleerimine 6c. Helivaljuse reguleerimine pingejaguri meetodil	6a. Väline skeem koodeki juhtimiseks vajab väga palju lisanduvaid komponente, mis suurendab disaini maksumust märkimisväärselt. 6b. Mikrokontroller on nagunii ühenduses koodeki endaga, kuid selle juhtimiseks on vaja mikrokontrolleri tarkvarasse lisada koodeki draiver. 6c. Helivaljuse reguleerimine pingejaguri meetodil on robustne, kuid stereoväljundi puhul on selle disain keerukam, samuti lisandub mitmeid väliseid komponente ning suureneb disaini maksumus.	Rakendusjoonised, koodeki ja võimendi andmelehed	6a1. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (kõrge risk). 6b1. Tarkvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (keskmine risk). 6c1. Riistvara keerukus suurendab toote hinda ja omahind kujuneb seega tellijale liiga suureks (kõrge risk). 6c2. Skeem ei ole piisavalt läbimõeldud ning tekitab probleeme võimsusvõimendile (kõrge risk).	6a1. Leida innovaatiline skeem, mis omaks mõnda üksikut komponenti võimalikult väikeses korpuses. 6b1. Pole teada. 6c1. Leida innovaatiline skeem mis kasutab vaid üksikuid väikeses korpuses komponente. 6c2. Kasutada mingit puhvrit koodeki ja võimsusvõimendi vahel.

Lisa 2. Täielik MP3 mängija skeem



DRAWN: JPO		DATED: 04.12.2013	
CHECKED: TTA		DATED: 04.12.2013	
QUALITY CONTROL: OME		DATED: 05.12.2013	
RELEASED: TTA		DATED: 05.12.2013	
COMPANY: THE Systems			
TITLE: MP3 Player ver. 1			
CODE: 8472-103	SIZE: A1	DRAWING NO: 1	REV: 3
SCALE: 1:1		SHEET: 1 of 1	