

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Nahrávací smyčka pro kytaru

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch KADLEC**
Osobní číslo: **E12N0050P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu: **Nahrávací smyčka pro kytaru**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhněte zařízení pro záznam a přehrávání zvukových smyček ze vstupu pro elektrickou kytaru nebo mikrofonu pro potřeby skládání, cvičení a živého vystoupení. Funkce by měla umožňovat postupné nahrávání rytmických a harmonických sekvencí nástroje do jednotlivých oddělených zvukových stop a nezávislé přehrávání jejich libovolné kombinace. Zařízení by mělo disponovat dvěma analogovými vstupy (kytara, mikrofon), jedním analogovým linkovým výstupem, možností uložení dat na záznamové médium (např. microSD/SDHC karta) a rozšiřujícím USB konektorem pro připojení PC. Napájecí obvody zařízení by měly umožňovat provoz z baterií nebo externího adaptéru.

1. Seznamte se s vlastnostmi a parametry současně dodávaných komerčních zařízení.
2. Navrhněte blokovou strukturu zařízení obsahující analogovou část, obvody číslicového zpracování a ovládací obvody.
3. Navrhněte vhodný způsob ovládacího uživatelského rozhraní respektující základní ovládací funkce během živého vystoupení a pokročilejší uživatelské funkce související s nastavením předvoleb.
4. Na základě navržené blokové struktury a uživatelského rozhraní vytipujte vhodné komponenty, realizujte hardwarové řešení a implementujte firmware použitého mikrokontroléru.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Petr Krist, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013

Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh a realizaci nahrávací smyčky především pro elektrickou kytaru s jednočipovým mikropočítačem STM32F407. Vstupní signál je přes zesilovače a hardwarový audio kodek zaznamenán na paměťovou kartu se souborovým systémem typu FAT32. Během záznamu zvukové stopy jsou automaticky přehrávány všechny doposud nahrané stopy. Pomocí nožních spínačů může uživatel přecházet mezi jednotlivými provozními režimy. Prosvětlená tlačítka umožňují změnu parametrů aktuálního audio-výstupu. Stav zařízení je zobrazován na LCD zobrazovači. Zařízení je umístěno v krabici odolné vůči mechanickému namáhání.

Klíčová slova

STM32, looper, kytara, pedál, efekt, audio kodek, wave, záznam, zvuková stopa, i2s, vzorkování, mikrofonní vstup, nástrojový vstup, SD karta, STM32F4 Discovery

Abstract

The master theses presents the development and realization of guitar looper pedal based on STM32 microcontroller. Input signal is gained by amplifier and sampled by hardware audio codec into digital form. Digital stream is transmitted by STM32 into SD card which uses FAT32 filesystem. All previously recorded tracks are automatically replayed into output while new track is recorded. User can switch between device's states by footswitches. User can change parameters of audio output by illuminated buttons. Actual device mode is indicated on LCD display. All device's parts are in aluminium box which defend the device from mechanical damage.

Key words

STM32, looper, citar, pedal, efekt, audio codec, wave, rekord, audio track, i2s, sampling, microphone input, instrument input, SD card, STM32F4 Discovery

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 5.5.2014

Vojtěch Kadlec

.....

Obsah

OBSAH	1
SEZNAM OBRÁZKŮ	2
SEZNAM TABULEK	2
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	3
ÚVOD	4
1 TEORETICKÝ ROZBOR	5
1.1 SOUČASNÍ KOMERČNÍ ŘEŠENÍ	5
1.2 KYTAROVÝ SNÍMAČ	8
1.2.1 Single coil	8
1.2.2 Humbucker	8
1.2.3 Single size humbucker a minihumbucker	9
1.2.4 Další typy snímačů	9
1.3 IMPEDANCE ANALOGOVÝCH VSTUPŮ A VÝSTUPŮ	10
1.3.1 Mikrofonní a linkové vstupy	10
1.4 WAVE FORMÁT	10
1.5 SD KARTA	12
1.5.1 Režim SPI	12
1.5.2 Režim SD	14
2 HW PODOBA ZAŘÍZENÍ	14
2.1 OVLÁDACÍ ROZHRANÍ	15
2.2 MECHANICKÁ KONSTRUKCE	17
2.3 DPS	18
2.4 NAPÁJENÍ	20
2.5 VSTUPNÍ PŘEDZESILOVAČE	21
2.6 MIKROFONNÍ ZESILOVAČ	22
2.7 VÝSTUPNÍ ZESILOVAČ	23
2.8 DISPLAY	23
3 SOFTWARE	24
3.1 OBSLUHA PAMĚŤOVÉ KARTY	24
3.2 OBSLUHA KOMUNIKACE S LCD	25
3.3 OBSLUHA KOMUNIKACE S AUDIO KODEKEM	25
3.4 SMYČKA HLAVNÍHO PROGRAMU	27
ZÁVĚR	28
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	29
PŘÍLOHY	1

Seznam obrázků

OBR.1.1. DIGITECH JAMMAN, PŘEVZATO Z [11].....	5
OBR.1.2. BOSS RC-3, PŘEVZATO Z [11].....	6
OBR.1.3. BOSS RC-30, PŘEVZATO Z [11].....	7
OBR.1.4. BOSS RC-300, PŘEVZATO Z [11].....	7
OBR.1.5. VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ SNÍMAČE TYPU SINGLE COIL, PŘEVZATO Z [2]	8
OBR.1.6. VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ SNÍMAČE TYPU HUMBUCKER, PŘEVZATO Z [2].....	9
OBR.1.7. ROZMÍSTĚNÍ PINŮ SD KARET, PŘEVZATO Z [1].....	12
OBR.2.1. BLOKOVÉ SCHÉMA.....	15
OBR.2.2. VÝVOJOVÁ DESKA PRO ROZŠÍŘENÍ STM32F4 DISCOVERY KITU.....	15
OBR.2.3. POTISK KRABÍČKY, STRANA OVLÁDACÍCH PRVKŮ	16
OBR.2.4. ROZMÍSTĚNÍ KONEKTORŮ	17
OBR.2.5. VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ SOUČÁSTÍ V KRABÍČCE, POHLED Z BOKU	18
OBR.2.6. UMÍSTĚNÍ DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ A BATERIE V KRABÍČCE.....	19
OBR.2.7. OSAZENÁ DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ PŘED OSAZENÍM OVLÁDACÍCH PRVKŮ	19
OBR.2.8. SCHÉMA ZAPOJENÍ VSTUPNÍHO PŘEDZESILOVAČE.....	21
OBR.2.9. SCHÉMA ZAPOJENÍ MIKROFONNÍHO ZESILOVAČE	22
OBR.2.10. SCHÉMA ZAPOJENÍ PODSVĚTLENÍ LCD	24

Seznam tabulek

TAB.1.1. HLAVIČKA WAV SOUBORU	11
TAB 1.2. POPIS FUNKCE PINŮ SD KARET V SPI REŽIMU, PŘEVZATO Z [1]	13
TAB 1.3. POPIS FUNKCE PINŮ SD KARET V 1BIT SD REŽIMU, PŘEVZATO Z [1].....	13
TAB 1.4. POPIS FUNKCE PINŮ SD KARET V 4BIT SD REŽIMU, PŘEVZATO Z [1]	13
TAB 2.1. PARAMETRY OPERAČNÍHO ZESILOVAČE,PŘEVZATO Z [7].....	22

Seznam symbolů a zkratek

ADC	Převodník analog-digital
ASCII	(American Standard Code for Information Interchange)
DMA	Přímý přístup do paměti
FSMC	Flexible Static Memory Controller
HW	Hardware
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Luminiscenční dioda
MCU	Microcontroller unit
MMC	MultiMedia Card
MP3	Audio formát MPEG Audio Layer 3
OGG	Audio formát vyvíjený nadací Xiph.org
RAM	Random access memory
RIFF	Resource Interchange File Format
SD	Secure Digital
SDHC	Secure Digital High Capacity
SDIO	Secure Digital Input / Output
SDXC	Secure Digital eXtended Capacity
SPI	Seriál Peripheral Interface
SW	Software
WAV, WAVE	Waveform audio file format
WMA	Windows Media Audio

Úvod

Předkládaná práce se zabývá návrhem a realizací nahrávací smyčky pro kytaru, známé také jako looper pedál. Zařízení tohoto typu slouží k postupnému nahrávání jednotlivých zvukových stop přes sebe a současně k jejich reprodukci. Jeden muzikant tak může postupně nahrát skladbu původně určenou pro několik nástrojů a to i během živého vystoupení.

Současné produkty však mají poměrně vysokou pořizovací cenu, především pro začínající muzikanty, nebo mají složité ovládání v důsledku snižování počtu ovládacích prvků a celkové miniaturizaci zařízení.

1 Teoretický rozbor

1.1 Současní komerční řešení

Digitech JamMan Stereo

- Ukládá 35 minut CD kvalitního záznamu. V 99 interních paměťových pozicích.
- Volitelná SDHC karta rozšiřuje záznam až na 16 hodin ve stejné kvalitě v dalších 99 pozicích. (Tedy celkem 198)
- Bez nutnosti cokoliv ovládat rukou, můžeme nahrávat rytmický podklad a ihned vrstvit svá sóla.
- Svoje smyčky a nápady můžete ihned organizovat a ukládat do PC přes USB kabel pomocí programu JamManager
- Vybaveno vstupem AUX pro import skladem
- Můžete do zařízení nahrát třeba basové linky nebo bicí party.
- Zpomalte si kdykoliv těžký part bez úpravy tóniny.
- Do nahrávek lze přidat i click metronomu
- Vše je ve vysoce odolném kovovém šasi
- Adaptér je součástí balení
- Možnost dokoupení footswitche pro ještě jednodušší a komfortnější ovládání

Cena: 5 490 Kč



Obr.1.1. Digitech JamMan, převzato z [11]

Boss RC-3 Loop Station

- Reálný stereo Loop station; jedna stereo stopa
- Interní paměť pro tři hodiny stereo záznamu
- 99 pamětí pro ukládání frázových smyček
- Vícenásobné vstupy: 1/4" A a B vstupní jacky, stereo 1/8 mini AUX vstupní jack
- USB 2.0 port umožňuje zapojit PC a importovat/ exportovat WAV audio záznam
- Rytmický doprovod s reálným zvukem bicích
- Pracuje na baterie nebo volitelný AC adaptér

Cena: 5 600 Kč



Obr.1.2. Boss RC-3, převzato z [11]

Boss RC-30 Loop Station

- Reálný stereo Loop station, dvě stereo stopy
- Obrovská interní paměť pro tři hodiny stereo záznamu!
- 99 pamětí pro ukládání frázových smyček
- Vícenásobné vstupy: 1/4" A a B vstupní jacky, stereo 1/8 mini AUX vstupní jack; RC-30 dále ještě XLR vstup s phantom napájením
- USB 2.0 port umožňuje zapojit PC a importovat/ exportovat WAV audio záznam
- Rytmický doprovod s reálným zvukem bicích
- Pracuje na baterie nebo volitelný AC adaptér
- Připravené efekty pro zpracování smyček

Cena: 8 350 Kč



Obr.1.3. Boss RC-30, převzato z [11]

Boss RC-300 Loop Station

Technické údaje

- kytarový podlahový efekt
- typ: Looper
- ovládání: 8 nožních spínačů, expression pedál, 3 fadery, 6 potenciometrů
- paměť: až 3 hodiny, 99 slotů
- možnost současného použití 3 nezávislých stereo smyček
- zabudovaná efektová jednotka s 16 efekty
- funkce Loop Quantize, Undo, Redo, Count-In, Auto Rec, Tap Tempo
- 83 zabudovaných doprovodných stop bicích, baskytary, piana a další
- digitální display
- vstupy: 2x 6,3 mm Jack, XLR s phantomovým napájením, Aux-In
- výstupy: 2x 6,3 mm Jack Main Out, 2x 6,3 mm Jack Sub-Out, sluchátkový
- MIDI-In, -Out a -Thru
- možnost připojení externích footswitchů

Cena: 14 550 Kč



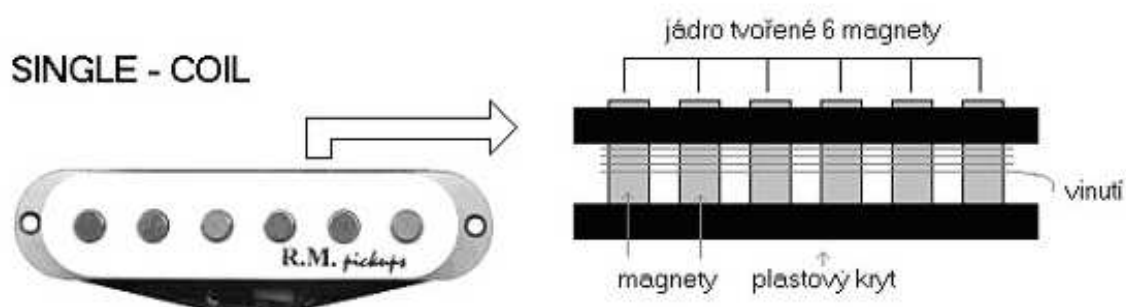
Obr.1.4. Boss RC-300, převzato z [11]

1.2 Kytarový snímač

Pro převod vibrací strun elektrofonické kytary na elektrický signál dále zpracovávaný v předzesilovačích slouží zařízení zvané kytarový snímač. Jedná se o cívky, ve kterých se indukuje velmi malý elektrický proud vlivem kmitání kovových strun v jejich blízkosti. Vlastnosti výsledného zvuku závisí na konstrukci a kvalitě vinutí cívek ve snímači, vzdálenosti snímače od strun, natočení či posunutí snímače vůči strunám a konstrukci nebo materiálu strun.

1.2.1 Single coil

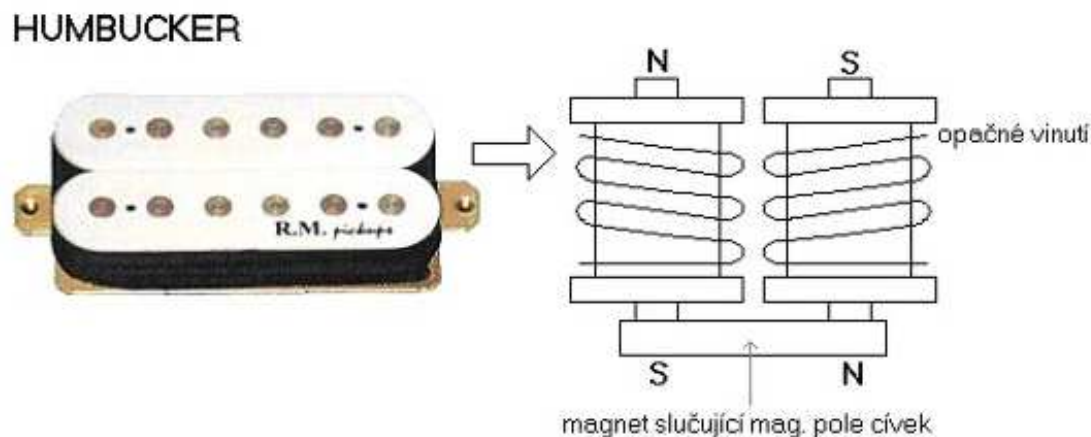
Jedná se o jednoduchý snímač tvořený jednou jedinou cívkou pro všechny struny a šest magnetů, jeden pod každou strunou, umístěných uvnitř cívky. U některých snímačů tohoto typu lze ze spodní strany pomocí šroubků korigovat vzdálenost každého magnetu od příslušné struny. Tento typ snímače se projevuje zejména čistými výškami a celkově přirozeným charakterem zvuku. Konstrukce s jednou cívkou má však za následek poměrně velké indukované rušivé napětí způsobující takzvaný brum.



Obr.1.5. Vnitřní uspořádání snímače typu single coil, převzato z [2]

1.2.2 Humbucker

Snímač typu humbucker je tvořen dvěma cívkami s opačným smyslem vinutí na společném jádře. Rušivé napětí se pak na každou cívku indukuje v opačné polaritě a po sečtení těchto signálů zapojením do série se rušivé napětí odečte. Užitečný signál se naopak sečte, takže na výstupu má mnohem větší úroveň než u snímačů typu single coil, což může vést až k přebuzení vstupních zesilovačů, čehož bývá využíváno v některých hudebních směrech. Frekvenčně mají plný tón, hlavně ve středech a basech, výšky jsou oproti jednocívkovým snímačům omezené.



Obr.1.6. Vnitřní uspořádání snímače typu humbucker, převzato z [2]

1.2.3 Single size humbucker a minihumbucker

Snímače typu humbucker jsou díky své konstrukci a použití dvou snímacích cívek mnohem větší než snímače typu single coil. Snímače single size humbucker a minihumbucker mají dvě cívky zúžené tak, aby celková velikost snímače umožňovala snadnou záměnu za single coil snímače. Tato výhoda je však kompenzována poměrně vysokou pořizovací cenou.

1.2.4 Další typy snímačů

Kromě zmiňovaných obvyklých typů snímačů vyvinuli různí výrobci ve snaze eliminovat neduhy běžných typů i jiné konstrukce snímačů. Běžné snímače mají například jednotlivé magnety umístěné pod každou strunou, což při vytažení struny v příčném směru (bend) způsobuje změnu charakteru zvuku a jeho amplitudu. Snímače rail(bar) pickups toto řeší umístěním feromagnetické tyče podél celého snímače přes všechny magnety. Stack snímače pak mají konstrukci stejnou se single coil snímači, ale s odbrumovací cívkou ve spodní části. Zvukově jsou pak velmi podobné single coil snímačům, ale pronikající rušení z okolí je mnohem menší. Pro účely MIDI zpracování také existují snímače s cívkou pro každou strunu zvlášť, které jsou připojeny k digitálním obvodům vyhodnocující frekvenci a amplitudu chvění strun a převádí je na digitální midi signály zpracovávané syntezátorem.

1.3 Impedance analogových vstupů a výstupů

Signál z kytarového snímače může dosahovat poměrně vysokých hodnot napětí, obvykle kolem 0,5V až 1V, v případě snímačů typu humbucker může přesáhnout i hodnotu 2V. Díky velmi velkému vnitřnímu odporu, který se pohybuje od 3k Ω do 15k Ω , není schopen dodávat příliš velký proud. Indukčnost snímačů se pohybuje kolem 2 až 10H, výsledná impedance pro 20kHz pak vychází řádově v desítkách až stovkách kiloohmů. Připojením takového zdroje signálu k linkovému vstupu, jehož vstupní impedance je 10k Ω , způsobí značný úbytek napětí a díky složce XL i značné ovlivnění frekvenční charakteristiky. Pro připojení elektrické kytary proto existují nástrojové vstupy, jejichž impedance se pohybuje okolo hodnoty 1M Ω . Bývají označovány Hi-Z (vysokoimpedanční) nebo instrument input. Některé nástrojové aparatury pak disponují dvěma vstupy označenými High a Low. High vstup je vysokoimpedanční pro připojení kytary přímo, Low vstup (nízkoimpedanční) pak slouží pro připojení kytary s aktivním snímačem, který obsahuje předzesilovač, nebo efektové krabičky.

1.3.1 Mikrofonní a linkové vstupy

Na rozdíl od kytary je signál z mikrofonu je velmi slabý a je ho potřeba zesílit mikrofonním zesilovačem. Impedance mikrofonních vstupů bývá okolo 2k Ω až 5k Ω . Výstupní impedance mikrofونů bývá v řádu stovek ohmů, piezoelektrické a kondenzátorové mikrofony pak mohou být od výrobce opatřeny elektronikou, jejichž výstup může být řešen linkovým výstupem na TRS konektoru nebo XLR konektoru.

Linkové vstupy mají obvykle impedanci okolo 10k, ale některé přístroje mohou mít vstupy s impedancí i 50k, impedance linkových výstupů pak bývá v řádech desítek až stovek ohmů. Veškeré tyto vstupy a výstupy jsou označovány line-in nebo line-out a je možné je libovolně propojovat. Je však nutné sledovat citlivost vstupu úroveň výstupního signálu udávané v jednotkách dBV a dBu. Při nevhodné kombinaci těchto vstupů a výstupů může nastat přebuzení vstupního zesilovače, lze ho ale často korigovat regulací zisku tohoto zesilovače.

1.4 WAVE formát

Zvukový formát WAVE nepatří mezi nejmodernější zvukové formáty. Microsoft a IBM ho začali vyvíjet více než před 20ti lety. Přesto se dodnes využívá v nespočtu aplikací od uchování krátkých zvuků počítačových programů přes zvonění mobilních telefonů až po špičková studiová zařízení pro záznam a střih zvuku. WAVE jako takový nepoužívá žádnou kompresi zvukových dat a je tak velmi náročný na velikost záznamového média. Tato nevýhoda způsobuje, že v přenosných přehrávačích, telefonech i osobních počítačích je u

delších zvukových záznamů vytlačován jinými zvukovými formáty využívající kompresi dat, například MP3, WMA či OGG. Právě ale díky nepoužití kompresi a poměrně jednoduchému způsobu ukládání dat vyžaduje sice poměrně velkou přenosovou rychlost záznamového média, o to menší ale výpočetní výkon dané zařízení k záznamu či reprodukci zvukové stopy potřebuje a dodnes se tak používá v aplikacích náročných na latence nebo v zařízeních s malým výpočetním výkonem.

RIFF WAVE formát se skládá ze tří hlavních částí – the RIFF chunk deskriptor, fmt sub-chunk a data sub-chunk. První část – RIFF chunk deskriptor – udává, o jaký formát z rodiny RIFF se jedná. V případě WAVE formátu obsahuje čtyři písmena v ASCII – „WAVE“.

Druhá část – fmt sub-chunk – představuje hlavičku nesoucí informace o formátu dat jako například velikosti dat, bitové délce jednoho vzorku, počtu kanálů či vzorkovací frekvenci.

Třetí část souboru obsahuje samotné zvukové vzorky standardně ukládané jako „little-endian“. Všechny vzorky musí být zarovnané na byty. Osmibitové vzorky jsou ukládány jako neznaménkové hodnoty 0-255, šestnáctibitové pak ve znaménkovém formátu s dvojkovým doplňkem (-32768 až 32767).

Jednotlivé části jsou uvedeny v následující tabulce

Tab.1.1. Hlavička WAV souboru

Offset	Size	Name	Description
0	4	ChunkID	"RIFF" in ASCII (0x52494646 big-endian form)
4	4	ChunkSize	36 + SubChunk2Size
8	4	Format	"WAVE" in ASCII
12	4	Subchunk1ID	"fmt " in ASCII
16	4	Subchunk1Size	16 for PCM
20	2	AudioFomrat	PCM = 1 (i.e. Linear quantization)
22	2	NumChannels	Mono = 1, Stereo = 2, etc.
24	4	SampleRate	8000, 44100, etc.
28	4	ByteRate	SampleRate * NumChannels * BitsPerSample/8
32	2	BlockAlign	NumChannels * BitsPerSample/8
34	2	BitsPerSample	8 bits = 8, 16 bits = 16, etc.
36	4	Subchunk2ID	"data" in ASCII
40	4	Subchunk2Size	NumSamples * NumChannels * BitsPerSample/8
44	*	Data	The actual sound data.

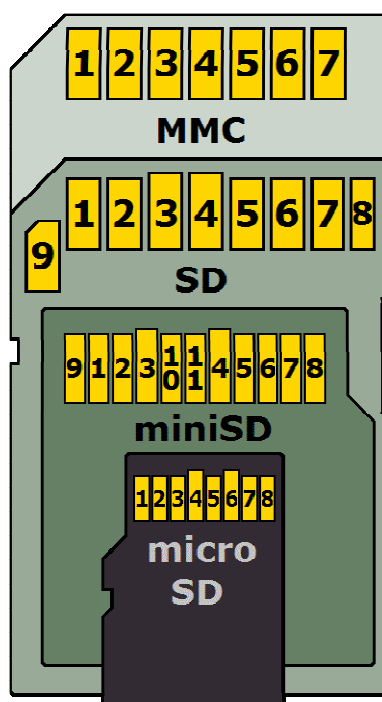
1.5 SD karta

Paměťové karty SD (Secure Digital) využívají technologie FLASH k uchování informací. SD je standard licencovaný organizací SD card association. Díky poměrně příznivému poměru cena-výkon, kde výkonem je myšlena kombinace, přenosové rychlosti, kapacity a spotřeby elektrické energie, se dnes jedná o jedno z nejrozšířenějších paměťových úložišť u přenosných zařízení jako jsou digitální fotoaparáty, kamery, mobilní telefony či přenosné hudební přehrávače.

SD karta podporuje dva režimy komunikace s okolím. Prvním z nich je režim komunikace po SPI vhodný pro výkonově slabší zařízení, pro náročnější aplikace, kde je rychlost čtení či zápisu na prvním místě pak karta podporuje SD režim.

1.5.1 Režim SPI

Komunikace v režimu SPI je určena především pro jednodušší zařízení, kde není přenosová rychlost datového úložiště na prvním místě. Velkou výhodou však je fakt, že nativní podporu SPI dnes najdeme i u těch nejlevnějších mikrokontrolerů a programová obsluha těchto periférií je velmi jednoduchá. Navíc vlivem nižší komunikační rychlosti má pak paměťová karta mnohem menší odběr energie, což bývá velmi výhodné zejména u bateriově napájených zařízení. V tomto režimu je navíc SD karta kompatibilní s MMC kartami.



Obr. 1.7. Rozmístění pinů SD karet, převzato z [1]

Tab 1.2 Popis funkce pinů SD karet v SPI režimu, převzato z [1]

MMC pin	SD pin	miniSD pin	microSD pin	Name	I/O	Description
1	1	1	2	nCS	I	SPI Card Select [CS] (Negative Logic)
2	2	2	3	DI	I	SPI Serial Data In [MOSI]
3	3	3		VSS	S	Ground
4	4	4	4	VDD	S	Power
5	5	5	5	CLK	I	SPI Serial Clock [SCLK]
6	6	6	6	VSS	S	Ground
7	7	7	7	DO	O	SPI Serial Data Out [MISO]
	8	8	8	NC/ nIRQ	O	Unused (memory cards) Interrupt (SDIO cards) (Negative Logic)
	9	9	1	NC		Unused
		10		NC		Reserved
		11		NC		Reserved

Tab 1.3. Popis funkce pinů SD karet v 1bit SD režimu, převzato z [1]

MMC pin	SD pin	miniSD pin	microSD pin	Name	I/O	Description
1	1	1	2	NC		Unused
2	2	2	3	CMD	I/O	Command, Response
3	3	3		VSS	S	Ground
4	4	4	4	VDD	S	Power
5	5	5	5	CLK	I	Serial Clock
6	6	6	6	VSS	S	Ground
7	7	7	7	DAT0	I/O	SD Serial Data 0
	8	8	8	NC/ nIRQ	- O	Unused (memory cards) Interrupt (SDIO cards) (Negative Logic)
	9	9	1	NC		Unused
		10		NC		Reserved
		11		NC		Reserved

Tab 1.4. Popis funkce pinů SD karet v 4bit SD režimu, převzato z [1]

MMC pin	SD pin	miniSD pin	microSD pin	Name	I/O	Description
1	1	1	2	DAT3	I/O	Unused
2	2	2	3	CMD	I/O	Command, Response
3	3	3		VSS	S	Ground
4	4	4	4	VDD	S	Power
5	5	5	5	CLK	I	Serial Clock
6	6	6	6	VSS	S	Ground
7	7	7	7	DAT0	I/O	SD Serial Data 0
	8	8	8	DAT1/ nIRQ	I/O O	Unused (memory cards) Interrupt (SDIO cards) (Negative Logic)
	9	9	1	DAT2	I/O	Unused
		10		NC		Reserved
		11		NC		Reserved

Režim SPI je aktivován prvním příkazem po resetu karty a není možné ho při práci libovolně měnit. Pokud je nutné z nějakého důvodu režim změnit, nelze to provést jinak než resetem karty a opětovnou inicializací.

1.5.2 Režim SD

Režim SD je určen pro aplikace vyžadující velkou přenosovou rychlost. Data se přenáší po 1-bitové nebo 4-bitové paralelní sběrnici, která umožňuje i vyšší frekvence hodinového signálu než SPI.

SDHC

SDHC (Secure Digital High Capacity) je nástupcem technologie SD karet. Odstraňuje především omezení maximální velikosti karty z původních 2GB na 32GB. Starší zařízení podporující pouze standard SD nejsou schopny s SDHC kartami pracovat, ale opačně jsou standardy kompatibilní. SDHC totiž vyžadují nepatrně odlišnou inicializaci a používají větší bloky. Kromě zvýšení kapacity se zlepšila i rychlost čtení a zápisu.

SDXC

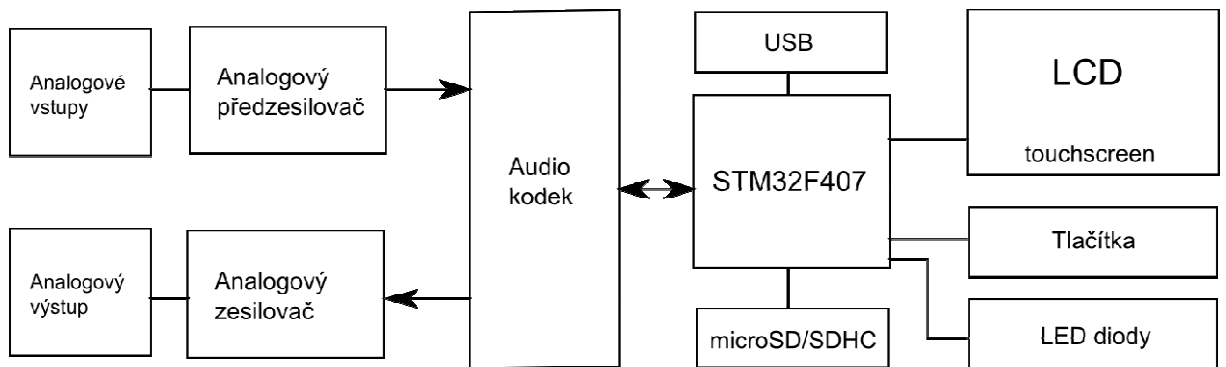
SDXC (Secure Digital eXtended Capacity) je dalším vylepšením těchto paměťových karet. Zatímco předešlé standardy využívaly souborové systémy FAT16 nebo FAT32, SDXC využívá souborového systému exFAT, který umožňuje ukládání souborů větších než 4GB, na rozdíl od FAT32. SDXC dále přináší další zvýšení rychlosti čtení na 480 Mb/s a zápisu na 280 Mb/s, což je již srovnatelné s USB 2.0. Karty se zatím vyrábějí v provedení 64GB a 128GB.

2 HW podoba zařízení

Pro realizaci zařízení byl zvolen 32-bitový jednočipový mikročítač STM32F407. V době psaní této práce to byl nejvýkonnější MCU od STM, přesto je jeho cena přijatelná. Jeho pouzdro LQFP100 umožňuje snadné osazení i v amatérských podmínkách a hlavně poskytuje dostatečný výpočetní výkon a potřebné periferie k realizaci nahrávací smyčky. MCU podporuje taktovací frekvenci až 168MHz, výpočty s plovoucí desetinnou čárkou a dokonce několik instrukcí DPS procesorů, které jsou využitelné pro další rozšíření funkcí zařízení, například o digitální dozvuk nebo číslicový filtr. Velkou výhodou je i dostupnost vývojových desek STM Discovery kit F4 s vybraným MCU, které lze použít nejen k vývoji, ale i jako programátor a debugger.

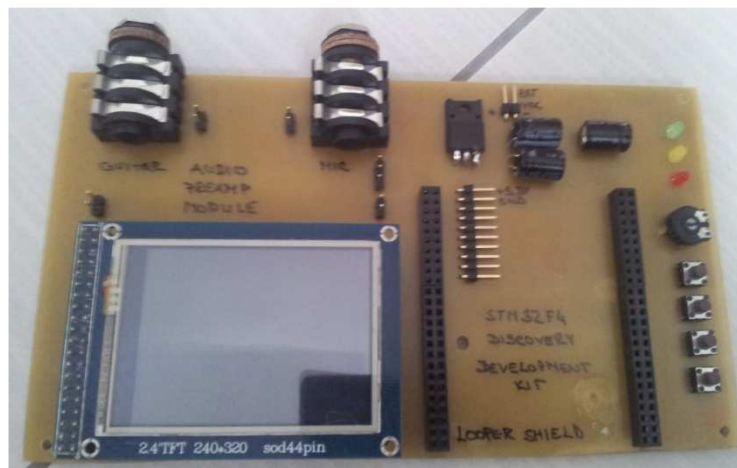
Převod analogového signálu na digitální a zpět zajišťuje audio kodek. Ten již realizuje převzorkování a integruje v sobě analogový filtr, takže již není nutné dále řešit aliasing. Na rozdíl od použití integrovaného ADC a DAC přímo v MCU. Je však ale nutné nastavit

komunikaci mezi MCU a kodekem, který k tomuto účelu má jednu sběrnici komunikační a druhou konfigurační.



Obr.2.1. Blokové schéma

Pro počáteční vývoj byl navržen plošný spoj na obrázku Obr.2.2. Slouží jako rozšiřující deska pro vývojový kit STM Discovery F4 pro připojení modulu s LCD displejem, paměťové karty a analogových předzesilovačů. Přímou na kitu je už osazen audio kodek CS43L22 s konektorem jack 3,5mm pro připojení sluchátek. Tento kodek ale není dostupný v kusovém množství.



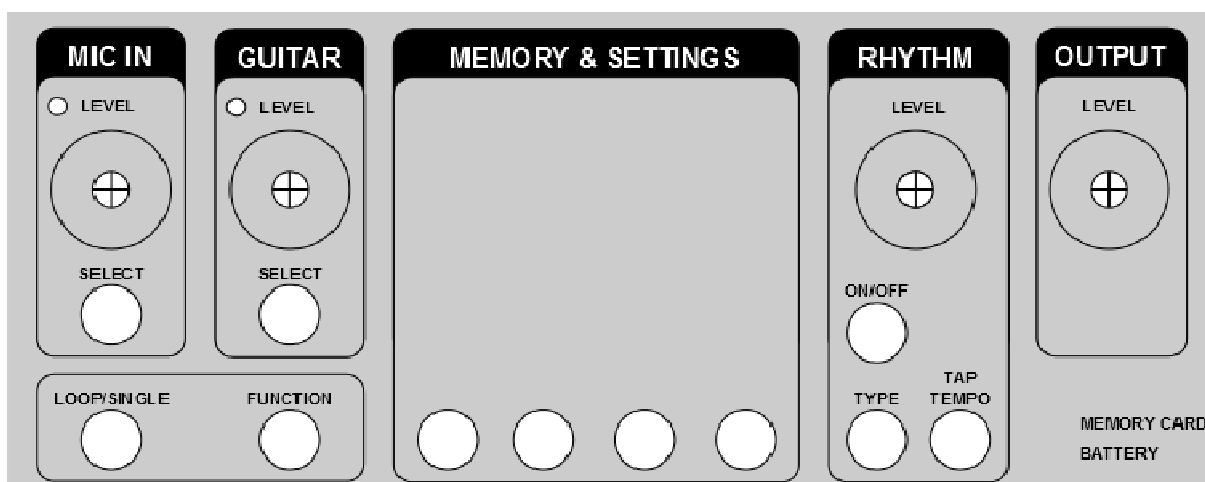
Obr.2.2. Vývojová deska pro rozšíření STM32F4 Discovery kitu

2.1 Ovládací rozhraní

Levnější komerčně prodávané produkty obvykle disponují jedním nožním spínačem, několika málo tlačítky pro ovládání rukou a několika indikačními LED diodami. Každé tlačítko má pak několik funkcí v závislosti na způsobu stisknutí (krátké nebo dlouhé, dvojklik...) nebo na stavu, ve kterém se zařízení nachází (přehrávání, záznam...). Trvá tak poměrně dlouho než si uživatel na ovládání zvykne a i tak musí čas od času otevřít manuál.

Dražší produkty disponují větším počtem nožních spínačů i tlačítek pro ovládání rukou. Velmi často už kromě indikačních LED diod využívají alfanumerického podsvíceného LCD displeje, nejčastěji v konfiguraci 2x16 znaků. Větší počet ovládacích prvků umožňuje přiřazení pouze jedné funkce jednomu tlačítku. Popisky tlačítek jsou pak mnohem jednodušší a lze se pak při ovládání orientovat jen podle nich, bez nutnosti konzultace s manuálem. Větší počet nožních spínačů pak zajišťuje snadnější ovládání během hraní bez nutnosti skladbu přerušit a sehnout se k zařízení, což je při živém vystoupení nemyslitelné. Celkově však větší počet tlačítek a především nožních spínačů, které nesmí být příliš blízko sebe pro snadné ovládání nohou, vyžaduje úměrné zvětšení celého zařízení, které pak může na pódiu, zejména při kombinaci s dalšími efekty a odposlechovými reproboxy, překážet.

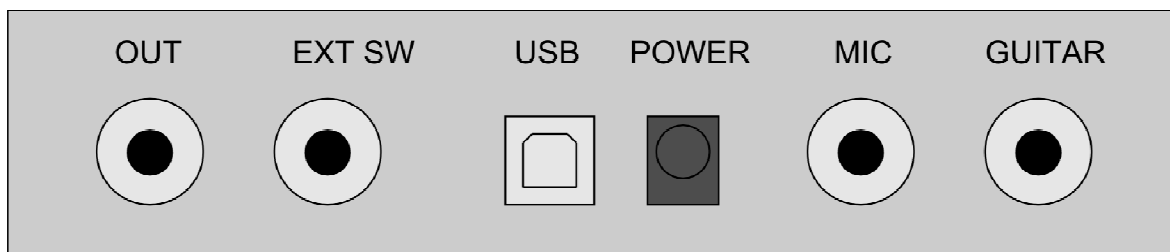
Jako kompromis byly zvoleny dva nožní přepínače, jedenáct tlačítek, z toho čtyři podsvětlená jednou barvou a jedno podsvětlené dvojbarevně a barevný grafický LCD display s rozlišením 320x240 a úhlopříčkou 2,4 palců. Pro regulaci hlasitosti jednotlivých vstupů a výstupů byly zvoleny standardní potenciometry. Oproti ovládání hlasitosti tlačítka poskytují mnohem vyšší komfort a to i za zhoršených světelných podmínek. Navíc při jejich opotřebení stačí odporové dráhy ošetřit speciálním sprejem a vyhnout se tak jejich výměně, na rozdíl od rotačních enkodérů.



Obr.2.3. Potisk krabičky, strana ovládacích prvků

Ovládací prvky jsou rozděleny do skupin podle jejich funkce a graficky odděleny potiskem panelu pro maximální usnadnění orientace na panelu. Vlevo jsou umístěny potenciometry ovládající nastavení hlasitosti kytarového a mikrofonního vstupu. Každý ze vstupů lze aktivovat či deaktivovat tlačítkem SELECT, přičemž aktuální stav je indikován podsvětlením příslušného tlačítka. Vpravo jsou pak potenciometry pro nastavení hlasitosti doprovodu a výstupu. Ve skupině ovladačů pro doprovod jsou ještě další tři tlačítka. Jedno

podsvětlené slouží pro aktivaci nebo deaktivaci doprovodu, podobně jako u vstupů. Tlačítko TYPE je nepodsvětlené a slouží pro výběr z několika typů doprovodů. Poslední z třetice - TAP-TEMPO slouží jednak k nastavení tempa skladby jejím „vyt'ukáním“, jednak k jeho indikaci pomocí dvoubarevného podsvětlení tlačítka. První doba je indikována červeným bliknutím, další doby pak zeleným. Uprostřed je umístěn LCD display se čtyřmi tlačítky pro navigaci v kontextovém menu.



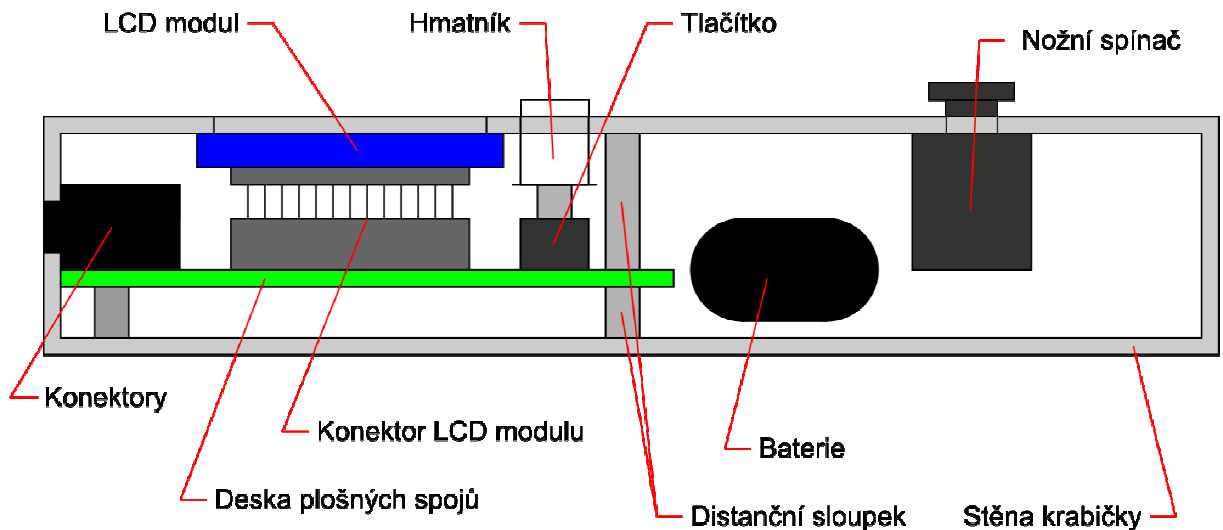
Obr.2.4. Rozmístění konektorů

2.2 Mechanická konstrukce

Veškerá audio technika používaná na pódiu je vystavena vibracím, ať už při přepravě, tak při hudební produkci. Efektové krabičky a pedály jsou navíc umístěny na zemi a ovládají se šlapáním na příslušné spínače. Musí tedy vydržet i poměrně hrubé zacházení, a to jak při jejich ovládání, tak při nechtěném zakopnutí o přívodní kabely nebo zařízení samotné. To bývá velmi častý problém především levnějších multieffektů, jejichž pláště nebo jiné kritické součásti bývají vyrobeny z tenkých plastů. Dalším častým problémem menších a levnějších pedálů je špatná stabilita krabičky. Při stlačení pedálu, v ne zcela kolmém směru nebo při tlaku na jeho okraj, pak dochází k převrnutí krabičky.

Při výběru vhodné krabičky byl kladen důraz především na tyto aspekty a výběr padl na hliníkovou krabičku od firmy Hammond typu 1455R2201 o rozměrech 220x165x30,5mm. Je vyrobena z hliníkového profilu dostatečné tloušťky zaručujícího pevnost a její plochý tvar nedovoluje její převrácení ani při tlaku na její okraje. Další zpevnění je dosaženo umístěním kovových distančních sloupků uprostřed krabičky zároveň sloužících k upevnění desky plošných spojů. Baterie je pak umístěna uprostřed krabičky podél těchto sloupků. Pomáhá tak svou vahou k přesunu těžiště doprostřed krabičky a zvyšuje tak její stabilitu. Ve spodní části jsou umístěny pouze nožní spínače a indikační diody. Zbývá zde tedy ještě dost prostoru pro další rozšiřování zařízení, například integrací zdroje přímo do krabičky zařízení. Boční krytky krabičky jsou upevněny čtyřmi vruty. Po jeho odejmutí je možné vytáhnout držák baterií nebo paměťovou kartu. Nebyla tak potřeba vyřezávat otvor pro vkládání karty a zhotovovat dvířka pro baterie a boční kryt krabičky chrání jemný paměťový slot před vnikáním prachu a nečistot.

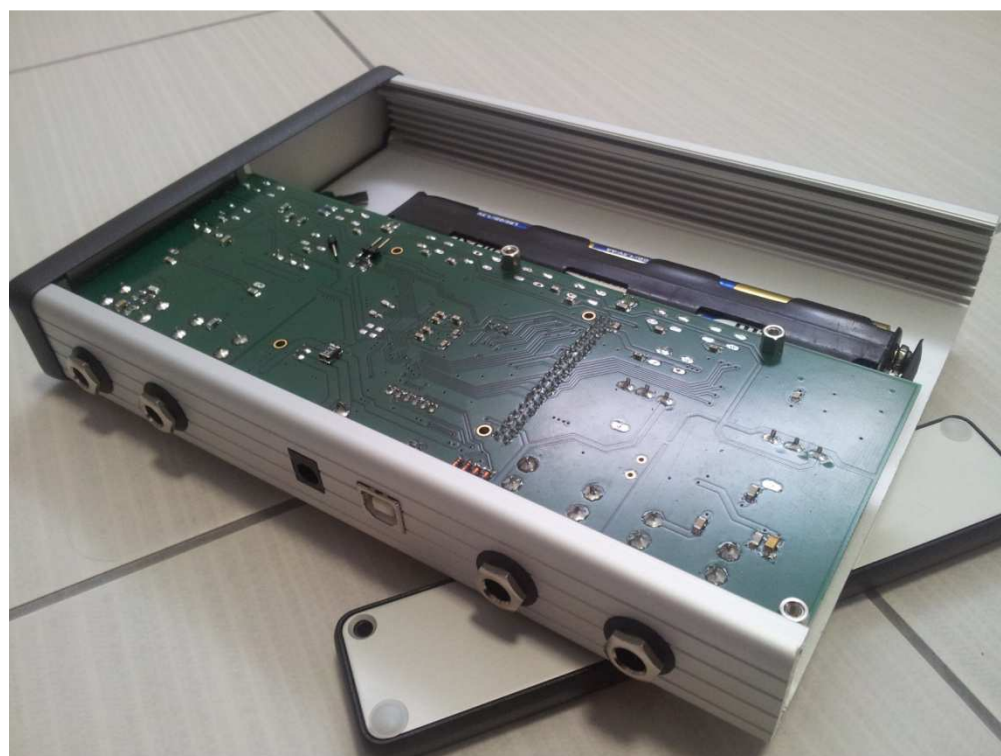
Okénko pro display je vyříznuto pouze pro jeho zobrazovací část a modul LCD je přišroubován zevnitř krabičky. Sklo displaye se tak nachází pod úrovní povrchu krabičky a je tak lépe chráněno proti rozbití či poškrábání. Navíc použitý dvouřadý pinový konektor modulu umožňuje vložit mezi okénko a display ještě jedno krycí sklíčko. Nákres vnitřního uspořádání je na následujícím obrázku.



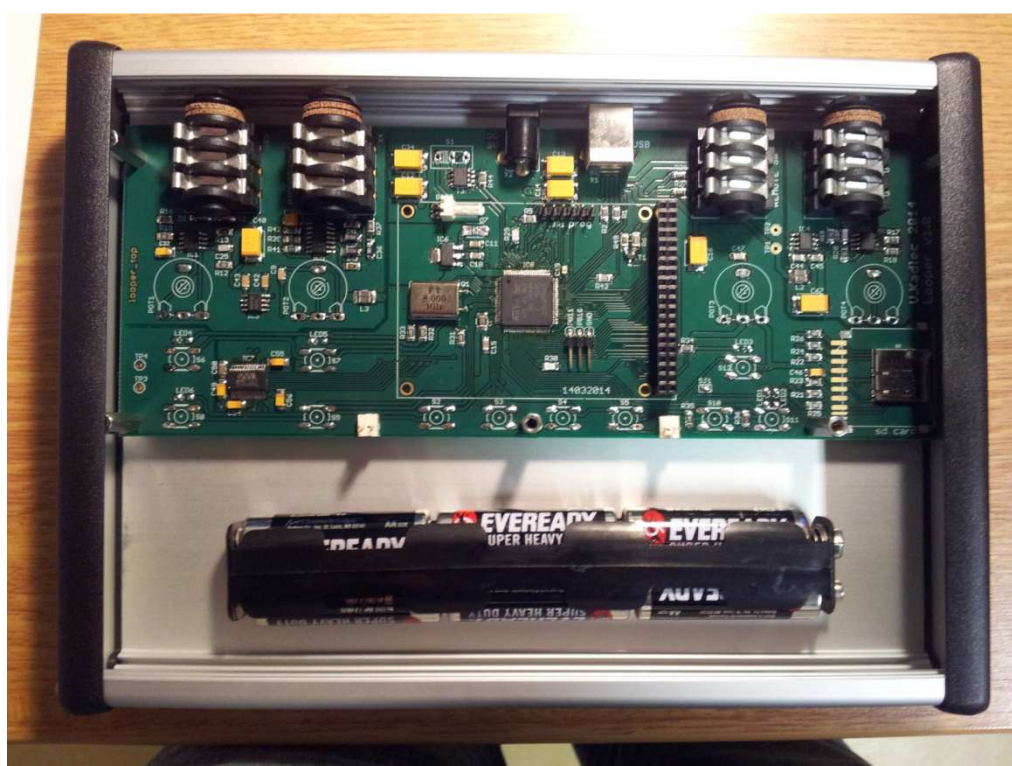
Obr.2.5. Vnitřní uspořádání součástí v krabičce, pohled z boku

2.3 DPS

Celé zařízení je realizováno na jenom dvouvrstvém plošném spoji s prokovenými otvory. Požadavky na umístění konektorů způsobily rozdělení analogové části na vstupní zesilovače vlevo a výstupní zesilovač vpravo, mezi nimiž se nachází digitální část, především MCU, USB připojení, sběrnice SD karty, sběrnice LCD. Analogové části plošného spoje s operačními zesilovači mají tedy vlastní stabilizátor napětí a oddělené rozlité zemnicí plochy, které jsou s digitální částí spojeny v jednom bodě, kde je přivedeno napájení. Plošný spoj byl navržen také s důrazem na mechanickou odolnost, kterou zajišťuje množství montážních otvorů a zesílení vodivých cest v oblastech zvýšeného mechanického namáhání, jako je okolí konektorů či tlačítek. Na desce je umístěn jak slot pro SD kartu standardní velikosti, tak microSD slot. Je tak možné při osazování zvolit požadovaný formát paměťové karty. Použitý slot pro microSD kartu neobsahuje kontakt pro detekci vložení karty. Při jeho osazení se spojí propojka SJ1 a přítomnost paměťové karty se pak detekuje pouze podle úspěšnosti její inicializace. Všechny elektrolytické kondenzátory jsou tantalové v SMD provedení. Jejich cena je sice vyšší, mají však mnohem menší vnitřní odpor a především mnohem menší poruchovost vlivem vysychání elektrolytu.



Obr.2.6. Umístění Desky plošných spojů a baterie v krabičce



Obr.2.7. Osazená deska plošných spojů před osazením ovládacích prvků

2.4 Napájení

Zařízení je napájeno z šesti primárních článků typu AA nebo 9V adaptéru, které velmi často používají i jiné efektové pedály a umožňuje to tak jejich záměnu. Protože zařízení ke své činnosti potřebuje vždy připojit kytarové kombo nebo zesilovač s reproboxem, předpokládá se dostupnost napájení ze sítě. Z tohoto důvodu nebylo implementováno nabíjení baterie, která má tak za úkol hlavně udržet zařízení v chodu během přepojování napájecího adaptéru nebo jeho nechtěným odpojení. Provoz výhradně na baterii se předpokládá jen výjimečně.

Výběr zdroje napájení (baterie nebo externí adaptér) zajišťuje samotný napájecí konektor, který při zasunutí externího adaptéru mechanicky odpojí záporný pól baterie. Adaptér je tedy potřeba vždy nejdříve připojit do sítě a do zařízení až poté, jinak dojde k výpadku napájení a ztrátě dat. Toto řešení je však velmi jednoduché, nepotřebuje žádné další součástky a nezpůsobuje další úbytky na polovodičových prvcích.

Napětí z konektoru je dále přivedeno přes polymerovou vratnou pojistku F1, která slouží jako ochrana proti zkratu, ale společně s diodou D7 také jako ochrana proti přepólování baterie nebo připojení adaptéru s nesprávnou polaritou. Kondenzátory C12,13,14,16,34 o celkové kapacitě 100uF plní funkci blokovacích kondenzátorů, zároveň však vyhlazují napětí při použití nekvalitního napájecího adaptéru s nedostatečnou filtrací. V neposlední řadě také pomáhá překlenout okamžik připojování nebo odpojování napájecího adaptéru. Toto napětí je pak rozvedeno po desce plošných spojů ke stabilizátorům, které napájejí součástky v určité oblasti. Vyžaduje to tak vyšší množství použitých součástek, částečně to ale přispívá k eliminaci rušení mezi jednotlivými komponentami a velmi to zjednodušuje plošný spoj, po kterém se nemusí rozvádět několik různých napájení.

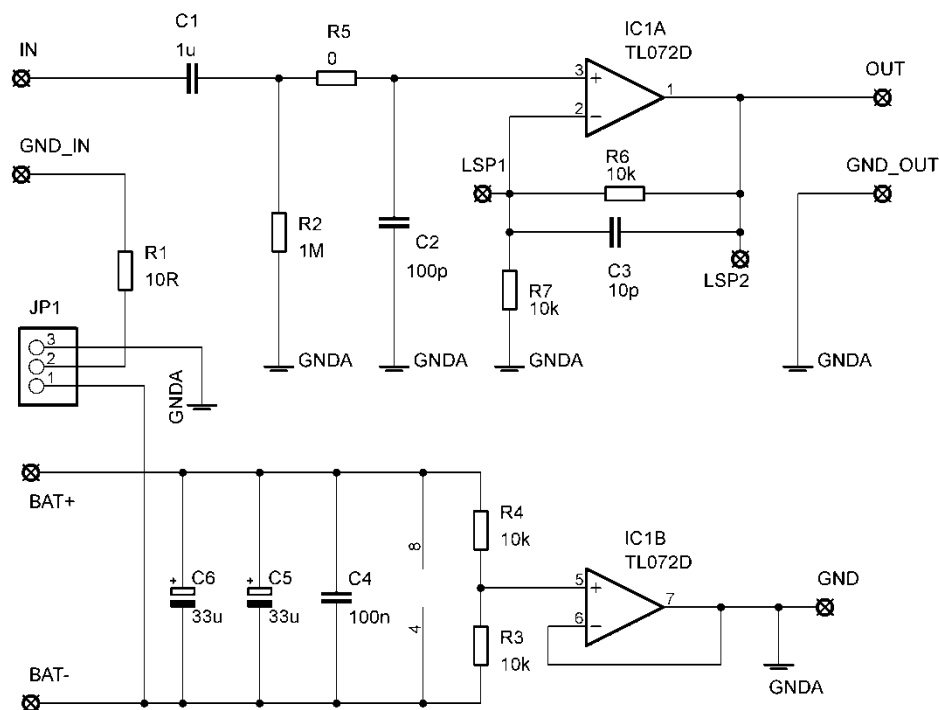
Pro stabilizaci napájecích napětí byly zvoleny integrované lineární stabilizátory, které do zařízení zavádějí méně rušení za cenu nižší účinnosti. Ta ale není kritickým faktorem. Odběr jednotlivých komponent je poměrně malý a předpokládá se hlavně provoz s připojeným externím adaptérem.

Stabilizátor IC6 napájejí MCU spolu s indikačními LED diodami, LCD displejem včetně podsvětlení a audio kodeku. Napájení všech analogových částí audio kodeku a MCU jsou oddělena LC filtrem tvořeným prvky L3,C43 a L2,C44. Z důvodu vyššího odběru všech LED diod a především LCD displeje s podsvětlením byl zvolen stabilizátor TS1117 s pevně nastaveným výstupním napětím 3,3V a maximálním výstupním proudem 1A, což je dostatečná rezerva.

Pro napájení předzesilovačů a výstupního zesilovače byl zvolen stabilizátor 78L05 v provedení LDO, z důvodu maximálního využití baterie, jejíž celkové napětí při vybití může klesnout pod hranici 7V. Proti pronikání rušení z digitálních částí zařízení jsou opět užity LC filtry, tentokrát již před stabilizátory.

2.5 Vstupní předzesilovače

Výstupní signál kytary má příliš nízkou úroveň, než aby ho bylo možné přímo přivést na vstup kodeku. Z tohoto důvodu je před kodek vložen předzesilovač pro zesílení signálu na požadovanou úroveň a přizpůsobení impedancí kytarových snímačů a vstupů kodeku. Jeho schéma je na obrázku *Obr.2.8*.



Obr.2.8. Schéma zapojení vstupního předzesilovače

Operační zesilovače jsou napájené z nesymetrického napájení 5V. Odpory R3 a R4 spolu s IC1B tak slouží pro výrobu umělého středu napájení. Symetrické napětí $\pm 2,5V$ je již ale příliš nízké pro standardní operační zesilovače TL072, takže byly použity BiCMOS rail-to-rail operační zesilovače TS922. Tyto zesilovače mají dostatečně nízkou cenu, přitom i nízký šum, alespoň pro danou aplikaci. Parametry daného operačního zesilovače jsou v tabulce *Tab.2.1*.

Tab 2.1. Parametry operačního zesilovače, převzato z [7]

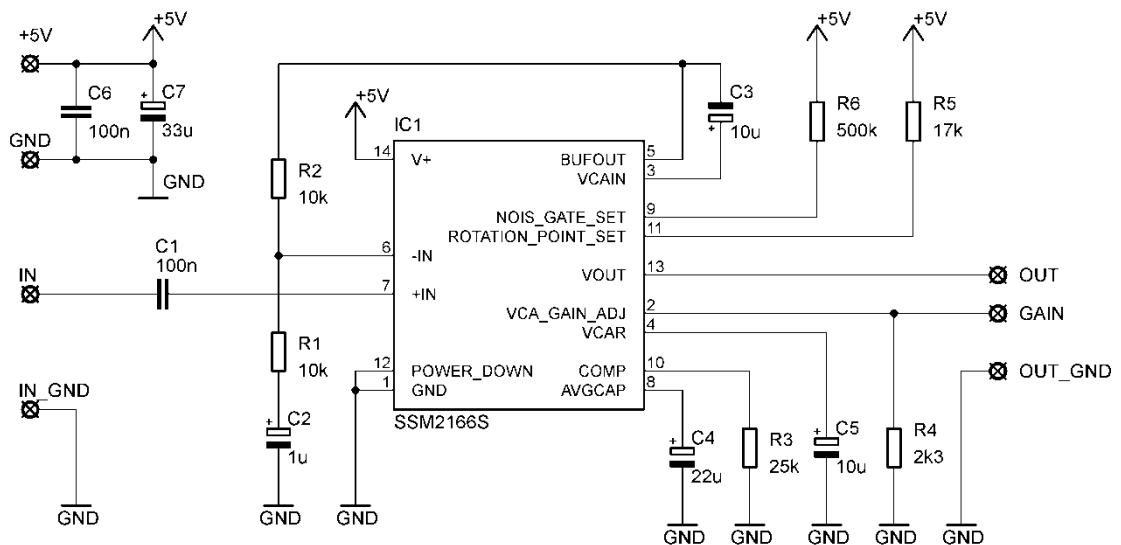
Napájecí napětí	2,7 až 12 V
Strmost	1,3 V/us
U _{in_offset}	3000 uV
Šum	9 nV/√Hz
Maximální výstupní proud	80 mA
Provozní teplota	-40 až 125 °C

Konektor kytarového vstupu je zapojen tak, aby při jeho odpojení byl vstup zesilovače připojen na zem a omezil tak brum nezapojeného vstupu. Diodový omezovač tvořený diodami D1 a D2 slouží k ochraně operačního zesilovače před nesprávným připojením cizího napětí do vstupního konektoru. Zejména při propojení se vstupem kytarového komba pro externí nožní spínač, na kterém se může objevit stejnosměrné napětí. Napěťová špička, která by prošla kondenzátorem C23 by pak mohla poškodit vstup operačního zesilovače. Například na vstupu pro externí nožní spínač pro přepínání kanálů na komba Marshall DSL5C bylo naměřeno stejnosměrné napětí 12V.

Vstupní impedance zesilovače je definována odporem R11 na 1MΩ. Zesílení je nastaveno odpory R12 a R13 na 10. Úroveň signálu pak lze regulovat potenciometrem POT1, který je zapojen jako napěťový dělič.

2.6 Mikrofonní zesilovač

Pro zesílení signálu z mikrofonu byl zvolen integrovaný zesilovač SSM2166. Pro jeho funkci potřebuje velmi malé množství okolních součástek a vyžaduje nesymetrické napájení 5V. Zapojení zesilovače je na obrázku Obr.2.9. Jedná se o katalogové zapojení doplněné opět o regulaci hlasitosti potenciometrem POT2.



Obr.2.9. Schéma zapojení mikrofonního zesilovače

2.7 Výstupní zesilovač

Protože je audiokodek dvoukanálový, ale zařízení má pouze jeden mono výstup, byla potřeba signály sloučit do jednoho. To realizují odpory R45 a R46, ulehčuje to tak zpracování MCU, kde by bylo třeba slučovat signály v programu. Pro regulaci hlasitosti je zde opět zařazen potenciometr POT4 zapojený jako dělič, za kterým následuje operační zesilovač IC2A v neinvertujícím zapojení se zesílením 1. Plní zde především funkci snížení výstupní impedance a částečně chrání audio kodek před poškozením cizím napětím na výstupu, při kterém tak bude potřeba výměna pouze operačního zesilovače. Stejně jako u vstupního zesilovače byl zvolen typ TS922 s nesymetrickým napájením. Jeden ze dvou operačních zesilovačů integrovaných v pouzdře opět definuje umělý střed napájecího napětí. V opačném případě by byla potřeba tento střed vést přes celou desku plošného spoje kolem digitálních částí zařízení, kde by pak mohlo pronikat značné rušení.

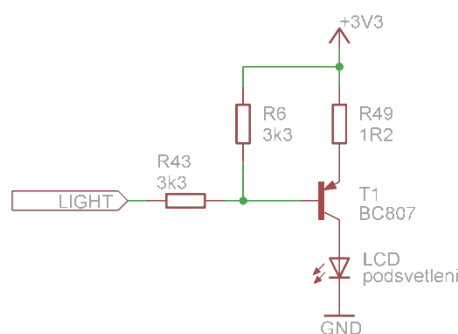
2.8 Display

Pro interakci s uživatelem byl zvolen grafický barevný display úhlopříčky 2,4 palců a rozlišením 320x240 obrazových bodů. Z důvodu nízké ceny a snadné dostupnosti byl zvolen LCD modul s řadičem ILI9325. Řadič jako takový podporuje komunikaci s MCU přes čtyři různé sběrnice, i80-system MPU interface (8-/9-/16-/18-bit), VSYNC interface (system interface + VSYNC, internal clock, DB[17:0]), serial data transfer interface (SPI) a RGB 6-/16-/18-bit interface (DOTCLK, VSYNC, HSYNC, ENABLE, DB[17:0]). V použitém modulu je zapojena sběrnice i80 s šířkou slova 16bitů. Zvolený mikrokontroler STM32F407 disponuje FSMC řadičem obvykle sloužícím k připojení externích pamětí. Lze však nakonfigurovat i ke komunikaci s touto sběrnicí, kdy obrazová data v grafické paměti řadiče displeje jsou namapována jako část paměti RAM. Přesun většího množství obrazových dat pak samotnému procesoru trvá pouhou jednu instrukci, samotný postupný přenos do paměti displeje zajišťuje FSMC řadič, který navíc podporuje DMA přenosy.

Přestože řadič displeje ILI9325 podporuje plnou rychlost FSMC, zvláště při připojení displeje pomocí drátků k vývojovému kitu, projevovalo se při této rychlosti rušení. Zejména když byly vedle sebe jeden černý a jeden bílý pixel, skoková změna všech šestnácti datových vodičů pronikla ve formě falešného pulsu na hodinový vodič a v obrazu se tak objevily přebytečné pixely, které způsobovaly deformaci obrazu. Problém sice řešilo stínění vodiče s hodinami nebo jeho vedení dále od datových, to ale nebylo realizovatelné na plošném spoji.

FSMC řadič byl proto nastaven na poloviční frekvenci a konektor display byl umístěn co nejbližší MCU aby byly vodivé cesty co nejkratší.

Podsvětlení LCD je realizováno čtyřmi bílými LED diodami, které jsou v modulu zapojeny paralelně. LED diody mají úbytek napětí v propustném směru 3V a maximální proud celým podsvětlením je 80mA, je tedy možné je napájet z 3,3V větve. Protože je katoda podsvětlovacích diod připojena v modulu pevně k zemi napájení, pro spínání a regulaci intenzity podsvětlení bylo zvoleno následující zapojení na obrázku *Obr.2.10*. Hodnota omezovacího odporu byla zvolena podle katalogového listu, vlivem úbytku na tranzistoru ale stačí použít odpor mnohem nižší hodnoty, kolem 1Ω .



Obr.2.10. Schéma zapojení podsvětlení LCD

3 Software

Programová část zařízení je napsána v jazyce C. Celý firmware je rozdělen do několika částí podle zaměření jednotlivých funkcí.

3.1 Obsluha paměťové karty

Knihovna pro zápis a čtení z paměťové karty se skládá ze souborů `diskio.c`, `diskio.h`, `ff.c`, `ff.h` a `stm32f4_sdio_sd.h`.

Soubor `diskio.c` obsahuje rutiny pro inicializaci karty, základní komunikaci s kartou a zjišťování jejího stavu. Pro práci s SDIO řadičem používá `stm32f4_discovery_sdio_sd.h` z knihovny `StdPeriph` library od ST.

Funkce pro práci s kartou na úrovni souborového systému FAT jsou v souboru `ff.c`, který vychází z knihovny `FatFs`. Ta byla v době započetí práce orientována především pro osmibitové platformy s velmi malou pamětí a komunikací s kartou prostřednictvím SPI rozhraní. Bylo tedy nutné ji částečně upravit, především změnit velikost bloků, se kterými pracuje. Zmenšování velikosti bloků sice snižuje paměťovou náročnost na straně procesoru, velmi znatelně ale snižuje i komunikační rychlost karty. Po spuštění a inicializaci karty je připojen první oddíl disku, ostatní oddíly jsou ignorovány. Vzhledem ke složitosti

implementace práce s více oddíly nebyla tato funkce shledána dostatečně přínosnou pro danou aplikaci.

Po připojení oddílu je možné otevřít libovolný soubor funkcí `f_open()`, číst a zapisovat funkcemi `f_read()` a `f_write()`, případně se pohybovat v souboru pomocí `f_lseek()`.

3.2 Obsluha komunikace s LCD

Knihovna pro obsluhu komunikace s displayem je tvořena soubory `TFTLCD.c` a `TFTLCD.h`. Komunikace probíhá prostřednictvím FSMC řadiče procesoru, který umožňuje namapování obrazové paměti jako část paměti RAM. Při zahájení komunikace jsou nejprve nastaveny příslušné piny, na které je sběrnice připojena a inicializuje se řadič FSMC. Vodič nesoucí informaci, zda se jedná o příkaz pro display nebo data je připojen na pin adresní sběrnice reprezentující šestnáctý bit (A16). Data pro LCD modul tak lze poslat zapsáním na adresu nižší než `0x60020000`, zapsáním na vyšší adresu pak lze modulu poslat příkaz. Inicializace samotného řadiče LCD display `ILI9325` se pak provede zapsáním pole `_regValues` do příslušných registrů řadiče. Následně se celá obrazová paměť přepíše nulami reprezentující černé pixely, neboť po náběhu napájení může obecně obsahovat náhodná data. K tomu slouží funkce `fillScreen(BLACK)`. Funkce `setRotation()` slouží k nastavení orientace displaye. Přestože je komunikace s jinými typy řadičů jako `S6D1121` je velmi podobná, právě v registrech nastavující orientaci obrazu se liší a je nutné ji tak případně modifikovat. Částečně zde byla implementována i podpora pro jiná rozlišení pro případnou výměnu zobrazovacího modulu. Dále knihovna implementuje řadu funkcí pro zobrazení jednotlivých znaků nebo textových řetězců jako `drawChar()` a `drawString()`. Tyto funkce podporují zobrazení textů na příslušných souřadnicích v různých barvách i velikostech fontu. Řadič `ILI9325` nedisponuje žádným textovým fontem, je tedy definován v hlavičkovém souboru knihovny. Pro vykreslování grafických objektů jsou k dispozici funkce realizující jednoduché geometrické útvary jako `drawCircle()`, `drawLine()`, `drawTriangle()` apod.

3.3 Obsluha komunikace s audio kodekem

Protože byla aplikace nejprve laděna na vývojovém kitu `STM Discovery F4`, který disponuje jiným audio kodekem než byl zvolen pro konečný výrobek, knihovna komunikující s kodekem má dvě části podporující příslušný kodek. Oba jsou sice připojeny i2c sběrnici pro konfiguraci a i2s sběrnici pro výměnu dat, jejich konfigurační registry jsou ale naprosto odlišné a podporují různé funkce. Kodek `WM8XXX` podporuje přivedení signálu ze vstupů

přes směšovač na jeho výstupy, takže pro odposlech právě nahrávané stopy není ji proto nutné přimíchávat v programu procesoru, což výrazně zjednodušuje práci se zvukovými daty.

Při inicializaci jsou nastaveny i2c a i2s periferie v MCU a prostřednictvím i2c sběrnice jsou nastaveny konfigurační registry ovlivňující funkci kodeku především vzorkovací frekvenci, od které je odvozena i komunikační rychlost, počet bitů na vzorek, hlasitost výstupního signálu, propojení signálu ze vstupu na výstup a režim komunikace po i2s. Ta podporuje velký počet různých režimů lišících se zarovnáním bitů datových slov, násobkem komunikační rychlosti proti vzorkovací frekvenci nebo způsobem kódování audio vzorků. Nastavený režim komunikace kodeku po i2s musí být samozřejmě shodný s režimem nastaveným v periférii MCU.

Po načtení dat ze zvukového souboru jsou jednotlivé vzorky zapsány do jednoho ze dvou polí realizujících vyrovnávací paměť. Z druhého pole se zatím data prostřednictvím DMA přesouvají přes i2s řadič MCU do přijímacího registru kodeku, kde jsou převáděna na analogový signál. Když dojde k přenosu celého bufferu a ukazatel řadiče DMA je na konci, vyvolá se přerušování, jehož obsluha přehodí buffery a přenos a načítání dat probíhá znovu.

Záznam zvukové stopy ze vstupu kodeku probíhá obdobně, opět prostřednictvím dvou polí v paměti RAM, pouze při plnění jednoho pole daty přijímanými z i2s se druhý zapisuje do zvukového souboru na paměťové kartě. Při přehrávání je nutné výsledný datový tok dopočítat z několika různých zvukových stop v minulosti zaznamenaných. To se provádí načtení příslušných vzorků z přehrávaných souborů, vydělení těchto vzorků jejich počtem a následné sečtení do jednoho. Teprve poté jsou vzorky uloženy do bufferu.

Knihovna implementuje práci pouze s wav soubory s 16ti bitovými vzorky se vzorkovací frekvencí 44,1 kHz a lineární kvantizací. Jiné vzorkovací frekvence nebo šířky datových slov jsou možné pouze změnou zdrojových kódů. Podpora různých formátů souborů by totiž komplikovala proces slučování stop. Výrobci komerčně prodávaných zařízení tuto problematiku obvykle řeší stejným způsobem s příložením počítačového programu, kterým je možné zvukové soubory importovat do zařízení. Počítačový program pak převede soubory do požadovaného formátu a zkopíruje do paměti zařízení.

3.4 Smyčka hlavního programu

Po připojení napájení jsou inicializovány všechny potřebné periferie a součásti zařízení. Průběh jednotlivých operací a jejich výsledek je zobrazován na LCD pro potřeby ladění. Poté zařízení přejde do stop režimu, kdy neprobíhá záznam ani reprodukce, pouze se kontrolují stavy tlačítek. Dva nožní přepínače slouží k přechodu do jiných provozních stavů. Levý spínač slouží k zahájení záznamu nebo jeho ukončení, pravý pak k zahájení nebo ukončení přehrávání skladby bez záznamu nové stopy. Během záznamu se vždy přehrávají i stávající stopy a po stisku levého spínače se ukončí pouze záznam, po stisku pravého je ukončen záznam i reprodukce. Při režimech záznamu nebo reprodukce se opakovaně sleduje stav tlačítek, aktualizuje display a plní zvuková data do příslušných bufferů. Kvůli dobré čitelnosti displaye jsou veškeré informace zobrazovány především bílým textem na černém podkladu s barevnými značkami režimu (STOP, RECORD, PLAY, PAUSE). Při testování se totiž ukázalo, že graficky dokonalejší uživatelské prostředí je bez sehnutí se k zařízení na zemi obtížně čitelné a strohé vysoce kontrastní zobrazení tak plní svou funkci mnohem lépe. Výměna dat s PC je možná pouze vyjmutím paměťové karty a použitím čtečky karet. Zařízení také disponuje USB konektorem typu B pro pozdější přesouvání skladeb bez nutnosti manipulace s paměťovou kartou.

Závěr

Byl navržen plošný spoj s respektováním jak mechanických požadavků jako rozměry krabičky, mechanická odolnost, umístění montážních šroubů, ovládacích prvků a konektorů, tak elektrických, tedy oddělení napájení analogových částí od digitálních, oddělení zemnicích ploch a maximální délky a uspořádání použitých sběrnic.

Naprogramovaný software zařízení umožňuje záznam i současnou reprodukci zvukových stop a jejich ukládání na paměťovou kartu s filesystémem FAT, který dovoluje výměnu dat s osobním počítačem.

Navržené rozhraní pro ovládání zařízení a indikaci jeho stavu respektuje potřebu ovládání často používaných funkcí nožními spínači a zároveň poskytuje dostatečný komfort ovládání ostatních funkcí prostřednictvím dostatečného množství tlačítek, indikačních LED diod a LCD a zároveň dovoluje poměrně jednoduché přidávání dalších funkcí v programu bez nutnosti přidávání dalších tlačítek.

Návrhy pro další vývoj

Zařízení v současnosti dovoluje pouze jednoduchý záznam a následnou reprodukci zvukových stop. Značné vylepšení použitelnosti pedálu by bylo implementací různých doprovodů, především bicích a funkce tap-tempo, která dovoluje nastavit požadovaný rytmus skladby jeho vyřukáním příslušným tlačítkem. Pro tyto funkce jsou už v ovládacím rozhraní vyčleněna příslušná tlačítka s indikačními LED diodami a potenciometr pro nastavení hlasitosti doprovodné stopy.

Veškeré stopy jsou zaznamenávány na paměťovou kartu. Ta sice lze díky použití souborového systému FAT vložit do počítače, je ale potřeba odejmout boční kryt krabičky a vysunout kartu. Mnohem uživatelsky přívětivější by bylo připojení pedálu k počítači a přesun souborů jako z běžného vyměnitelného disku. Pro tuto funkcionalitu je vyveden USB konektor, nebyla ale implementována kvůli problematice dvojího přístupu k paměťové kartě jak samotným zařízením, tak počítačem. Rozumným východiskem by byl přechod zařízení do funkčně omezeného režimu realizujícího pouze komunikaci s připojeným počítačem.

Poměrně vysoký výpočetní výkon zvoleného MCU a podpora instrukcí digitálních signálních procesorů dovoluje provádění složitějších operací se zvukovými daty než jen slučování několika stop. Je možné tak přidat i některé digitální filtry nebo jiné zvukové efekty typu echo, overdrive a podobně. V ovládacím rozhraní bylo na toto rozšíření opět pamatováno a tlačítkem FUNCTION je možné otevírat například menu pro nastavení a aktivaci příslušného efektu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Secure Digital. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014, 2014-05-10 [cit. 2014-05-01]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital
- [2] Elektrická kytara: Snímače na elektrické kytáře. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014, 2014-02-09 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrická_kytara
- [3] Jak je to s impedancí?. In: STANĚK, Radomír. *Muzikus.cz* [online]. 2004, 2004-08-09 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/publicistika/Jak-je-to-s-impedanci~09~srpen~2004/>
- [4] STMicroelectronics. Datasheet STM32F407xx [online]. červen 2013 [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf>
- [5] STMicroelectronics. Application note TFT LCD with FSMC [online]. únor 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00201397.pdf
- [6] STMicroelectronics. Errata Sheet [online]. srpen 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/fragment/legal/statements/disclaimer/disclaimer_errata.pdf
- [7] STMicroelectronics. Datasheet TSS922 [online]. únor 2010 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/925/030/ts922-id-smd-datasheet-1.pdf>
- [8] Analog Devices. Datasheet SSM2166 [online]. 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/SSM2166.pdf
- [9] Wolfson Microelectronics. Datasheet WM8731 [online]. říjen 2012 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.wolfsonmicro.com/documents/uploads/data_sheets/en/WM8731.pdf
- [10] STMicroelectronics. Datasheet STM32F4 Discovery [online]. červenec 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00037955.pdf
- [11] Kytary.cz. Obrázky komerčních produktů [online]. květen 2013 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://kytary.cz/kytary/kytarove-efekty/efektove-pedaly/loopery/>

Přílohy

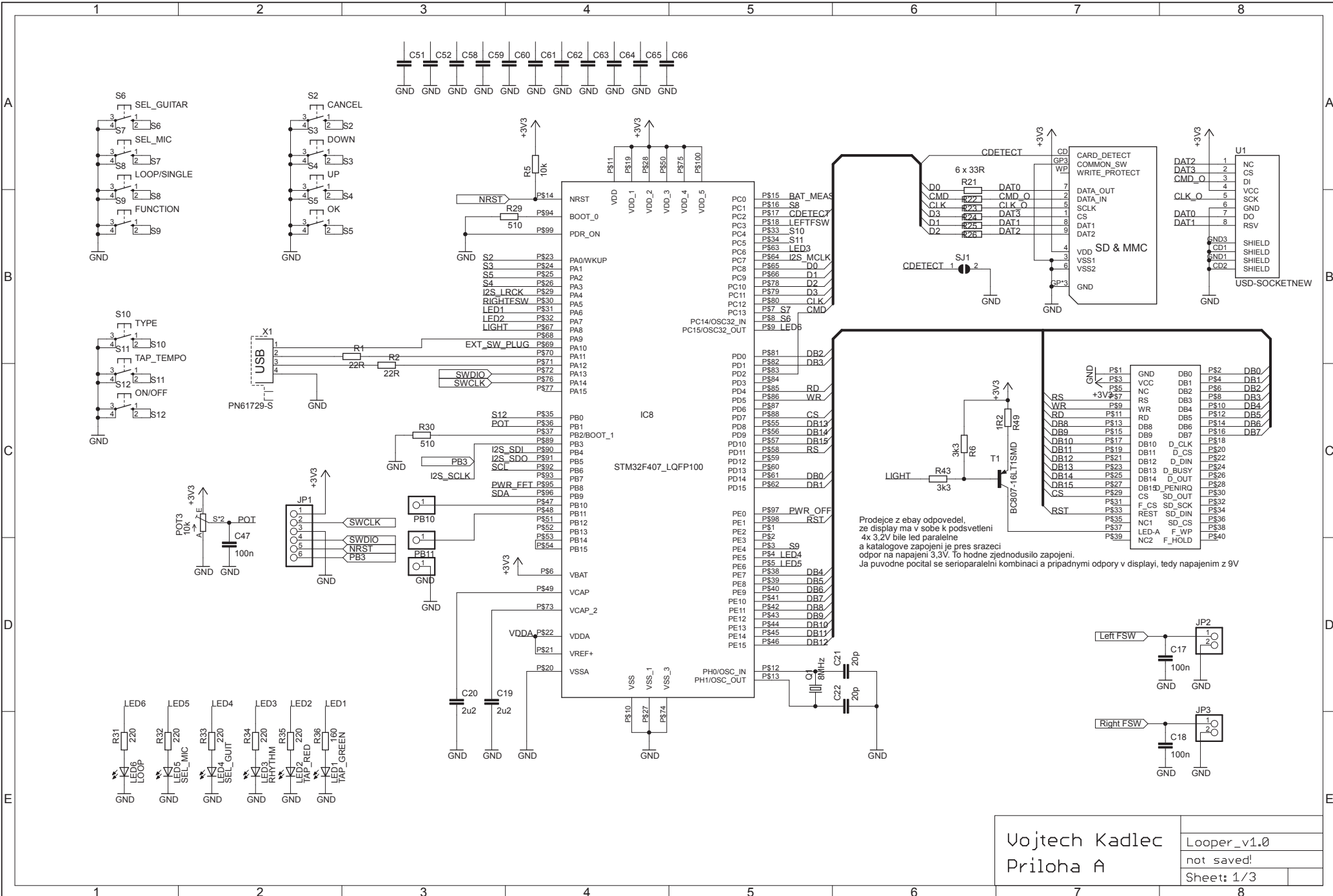
Příloha A – Schéma desky plošných spojů (CD)

Příloha B – Motiv desky plošných spojů TOP (CD)

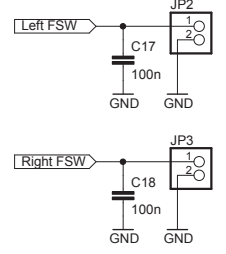
Příloha C – Motiv desky plošných spojů BOTTOM (CD)

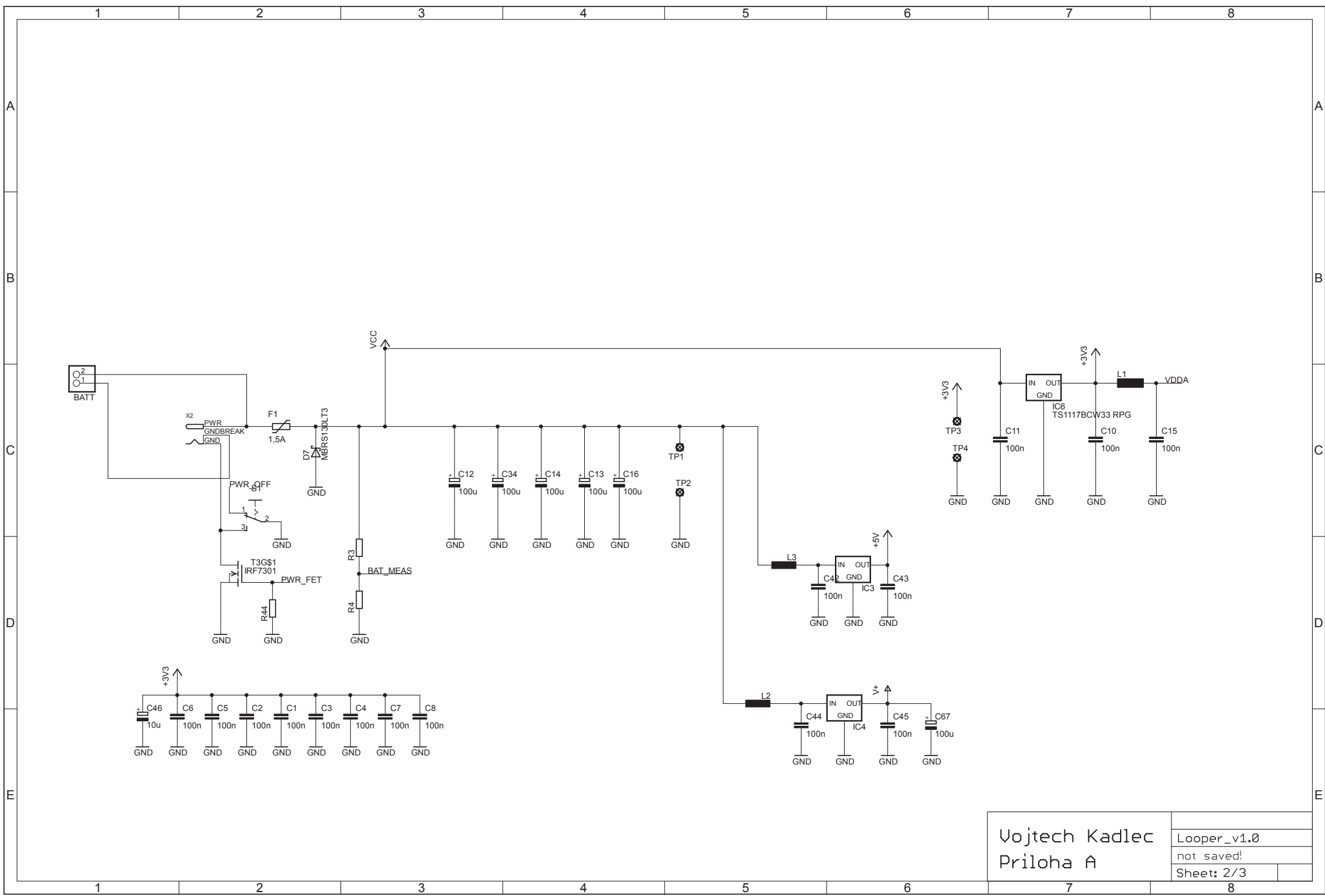
Příloha D – Zdrojové kódy programu (CD)

Příloha E – Obrázky potisku krabičky (CD)



Prodejce z ebay odpovedel, ze display ma v sobe k podsvetveni 4x 3,2V bile led paralelne a katalogove zapojeni je pres srazeci odpor na napajeni 3,3V. To hodne zjednodusilo zapojeni. Ja puvodne pocital se serioparalelni kombinaci a pripadnymi odpory v display, tedy napajenim z 9V





Vojtech Kadlec	
Looper_v1.0	
not saved!	
Sheet: 2/3	

