

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**NÁVRH A REALIZACE USB ZVUKOVÉ KARTY S
KYTAROVÝM A MIKROFONNÍM PŘEDZESILOVAČEM**

DESIGN AND REALIZATION OF USB SOUND CARD WITH A GUITAR AND MICROPHONE PREAMPLIFIER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Bajzík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

BRNO 2017



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**
Ústav telekomunikací

Student: Jakub Bajzík

ID: 174264

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace USB zvukové karty s kytarovým a mikrofonním předzesilovačem

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V bakalářské práci proveďte analýzu dostupných čipsetů pro USB zvukové karty. Na základě analýzy proveďte návrh a realizaci USB zvukové karty s kytarovým a mikrofonním předzesilovačem. U realizovaného zařízení otestujte parametry přenosu zvuku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] SELF, Douglas. Small signal audio design. 1st pub. Oxford: Focal Press, 2010, xvi, 556 s. : il. ISBN 978--240-52177-0.
- [2] LINSLEY HOOD, John. Audio Electronics. Kent: Elsevier Science, 2013. ISBN 9780750621816.

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá analýzou dostupných platforiem audio kodekov pre realizáciu externej zvukovej karty s rozhraním univerzálnej sériovej zbernice USB. Práca tiež obsahuje kompletný návrh obvodov mikrofónového predzosilňovača so symetrickým vstupom a gitarového predzosilňovača s nesymetrickým vstupom. K hlavným obvodom karty sú navrhnuté obvody napájacích zdrojov symetrického napätia, fantómového napätia a obvod indikácie úrovne zosilnenia signálu. Súčasťou práce je softvérová simulácia oboch predzosilňovačov a návrh dosky plošných spojov celkového zapojenia. Na hotovom výrobku boli zmerané parametre prenosu zvukového signálu.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Externé zvukové rozhranie, gitarový predzosilňovač, mikrofónový predzosilňovač, USB prevodník, zvuková karta, symetrické napájanie, fantómové napätie, prenos signálu

ABSTRACT

The term paper analyzes the available audio codecs platforms for the implementation of an external sound card with USB interface. It includes a complete design of differential microphone preamplifier with balanced input and single-ended guitar preamplifier with unbalanced input. The main circuit is completed by dual supply voltage, phantom power and signal indication. The term paper also includes a software simulation of preamplifier circuits and design of the printed circuit board. The final product was measured focusing on audio signal transfer.

KEYWORDS

External audio interface, guitar preamplifier, microphone preamplifier, USB converter, sound card, dual power supply, phantom power, signal transfer

BAJZÍK, Jakub *Návrh a realizace USB zvukové karty s kytarovým a mikrofonním předzesilovačem*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2017. 64 s. Vedúci práce bol Ing. Ondřej Krajsa, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Návrh a realizace USB zvukové karty s kytarovým a mikrofonním předzesilovačem“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Ondřejovi Krajsovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Zároveň by som rád poďakoval pánovi doc. Ing. Jiřímu Schimmelovi, Ph.D. za pomoc pri realizácii meraní a prístup do laboratória.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

podpis autora(-ky)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OP Výzkum a vývoj
pro inovace

OBSAH

Úvod	13
1 Audio kodek	14
1.1 Audio kodek bez USB	14
1.1.1 NXP Semiconductors UDA1341TS1	14
1.1.2 Digitálne rozhranie	14
1.2 Audio kodek s USB	15
1.2.1 Univerzálna sériová zbernica USB	15
1.2.2 Cmedia CM6502	15
1.2.3 Texas Instruments PCM2900	16
2 Teória návrhu obvodov	19
2.1 Predzosilňovače	19
2.1.1 Použitie v nízkofrekvenčnej technike	19
2.1.2 Rozdelenie predzosilňovačov	19
2.1.3 Pasívne predzosilňovače	19
2.1.4 Aktívne predzosilňovače	20
2.1.5 Zosilnenie	20
2.2 Operačné zosilňovače	20
2.2.1 Základný popis	20
2.2.2 Vlastnosti ideálneho OZ	21
2.2.3 Záporná spätná väzba	21
2.2.4 Základné zapojenia	21
2.3 Obvod so spínaným kondenzátorom	22
3 Návrh obvodov	24
3.1 Mikrofónový predzosilňovač	24
3.1.1 Symetrické vedenie signálu	24
3.1.2 Diferenčný zosilňovač	24
3.1.3 Zosilnenie	25
3.1.4 Návrh obvodových prvkov	26
3.1.5 Simulácia	27
3.1.6 Harmonické skreslenie	27
3.2 Gitarový predzosilňovač	29
3.2.1 Návrh obvodu použitím OPA1641	29
3.2.2 Nesymetrické vedenie signálu	29
3.2.3 Dolnopriepustný filter	30

3.2.4	Hornopriepustný filter	30
3.2.5	Zosilnenie	31
3.2.6	Simulácia	31
3.3	Návrh hlavného obvodu kodeku PCM2900	33
3.3.1	Napájací napäťový regulátor	33
3.3.2	Analógový vstup kodeku	34
3.4	Návrh napájacích zdrojov	35
3.4.1	Zdroj symetrického napätia	35
3.4.2	Napäťový konvertor LT1054	36
3.4.3	Zdroj fantómového napätia 48V	36
3.4.4	Vysokonapäťový konvertor TPS61170	37
3.5	Obvod indikácie signálu	38
3.6	Návrh dosky plošných spojov	39
4	Meranie parametrov karty	40
4.1	Príprava merania	40
4.1.1	Pripojenie zvukovej karty k PC	40
4.1.2	Zvukový ovládač ASIO	40
4.1.3	Analyzátor Audio Precision	40
4.1.4	Štandard merania	40
4.2	Parametre prenosu zvuku	41
4.2.1	Váhové funkcie	41
4.2.2	Frekvenčná odozva	41
4.2.3	Odstup užitočného signálu od šumu	43
4.2.4	Rozlíšenie prevodníkov	44
4.2.5	Dynamický rozsah	44
4.2.6	Harmonické skreslenie	45
4.2.7	Medzikanálové presluchy	48
5	Záver	50
	Literatúra	51
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	53
	Zoznam príloh	55
A	Doska plošných spojov	56
A.1	Vrchná strana DPS	56
A.2	Spodná strana DPS	56

B Rozmiestnenie súčiastok	57
C Celkové schémy zapojenia	58
C.1 Audio kodek a napájacie obvody	58
C.2 Predzosilňovače	59
C.3 Indikácia a slúchadlový výstup	60
D Zoznam súčiastok	61
E Fotografie výrobku	63
F Zoznam príloh na CD	64

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Signálový tok I ² S zbernice [1].	15
1.2	Bloková schéma delta-sigma prevodníka [3].	17
1.3	Vnútoraná bloková schéma obvodu PCM2900 [5].	17
2.1	Základné zapojenia operačných zosilňovačov.	22
2.2	Principiálna schéma obvodu so spínaným kondenzátorom [9]	23
3.1	Vnútorané zapojenie integrovaného obvodu INA163 [10].	24
3.2	Schéma zapojenia mikrofónového predzosilňovača v simulačnom programe.	26
3.3	Simulácia symetrického zdroja signálu v simulačnom programe.	27
3.4	Prenosová charakteristika mikrofónového predzosilňovača.	28
3.5	Fázová charakteristika mikrofónového predzosilňovača.	28
3.6	Schéma zapojenia gitarového predzosilňovača.	29
3.7	Simulácia výstupnej impedancie gitarového snímača.	30
3.8	Prenosová charakteristika gitarového predzosilňovača.	32
3.9	Fázová charakteristika gitarového predzosilňovača.	32
3.10	Zapojenie napäťového regulátora REG103 [14].	33
3.11	Vstupná analógová jednotka kodeku [5].	34
3.12	Limitácia záporných polvln signálu.	35
3.13	Zapojenie fantómového napájania.	37
3.14	Zapojenie komparátora pre indikáciu úrovni signálu.	38
3.15	Nákres predného panelu zvukovej karty	39
4.1	Frekvenčná odozva vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS pri minimálnom zosilnení predzosilňovačov.	42
4.2	Frekvenčná odozva vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS pri maximálnom zosilnení predzosilňovačov.	42
4.3	Frekvenčná odozva slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -20 dBFS.	43
4.4	Frekvenčná odozva zvukovej karty zo vstupu na výstup pri budení signálom s úrovňou -20 dBFS.	43
4.5	Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD oboch vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -1 dBFS.	45
4.6	Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N oboch vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -1 dBFS.	46
4.7	Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.	46
4.8	Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.	47

4.9	Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD zvukovej karty zo vstupu na výstup pri buzení signálom s úrovňou -1 dBFS.	47
4.10	Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N zvukovej karty zo vstupu na výstup pri buzení signálom s úrovňou -1 dBFS.	48
4.11	Frekvenčná závislosť presluchov vstupných kanálov buzených signálom s úrovňou -20 dBFS.	49
4.12	Frekvenčná závislosť presluchov výstupných kanálov buzených signálom s úrovňou -20 dBFS.	49
E.1	Predný pohľad na ovládacie prvky a konektory.	63
E.2	Zadný pohľad na konektor USB.	63
E.3	Vrchný pohľad na osadenú DPS.	63

ZOZNAM TABULIEK

1.1	Porovnanie parametrov A/D a D/A prevodníkov popísaných kodekov.	18
4.1	Tabuľka nameraných SNR a DR vstupných a výstupných kanálov. . .	44
4.2	Výsledky meraní THD a THD+N pri rôznych úrovniach signálu. . . .	45
D.1	Zoznam súčiastok č. 1	61
D.2	Zoznam súčiastok č. 2	62

ÚVOD

Jednou zo základných súčastí dnešných osobných počítačov sú integrované zvukové karty, ktoré predstavujú rozhranie medzi analógovou a číslicovou podobou zvukového signálu. Vo väčšine prípadov sa jedná o vstupno-výstupnú jednotku, ktorá sprostredkováva hlasovú interaktivitu medzi človekom a počítačom. Ťažko si vieme predstaviť osobný počítač bez možnosti či už snímania hlasu pri videohovoroch alebo prehrávania multimediálnych a zvukových súborov. Integrované zvukové karty v osobných počítačoch sú pre bežné používanie dostačujúce. V profesionálnej praxi sú však na zvukové karty kladené oveľa väčšie nároky z hľadiska kvality A/D¹ a D/A² prevodu, funkcionality a počtu vstupov a výstupov. Preto vzniká potreba realizovať externé zvukové zariadenie, ktoré by spĺňalo uvedené požiadavky. Jednou z hlavných výhod USB³ zvukovej karty je pripojiteľnosť k väčšine počítačov a často ide o prenosné zariadenie, ktoré nájde svoje využitie okrem zvukových štúdií taktiež u hudobníkov na cestách.

V tejto práci sa venujem návrhu jednoduchej zvukovej karty s mikrofónovým a gitarovým vstupom, ktorá by bola kompaktná a ľahko prenosná vďaka napájaniu z USB zbernice. Práca je výsledkom prieskumu a návrhu vhodných súčastí zariadenia, ktoré by umožnilo spracovať vstupný zvukový signál do digitálnej podoby cez rozhranie USB. Po porovnaní niekoľkých zvukových chipsetov som vybral najvhodnejšiu variantu, ktorá spĺňa požiadavky tejto práce. Následne sa venujem teoretickému popisu a návrhu mikrofónového a gitarového predzosilňovača a ich prepojeniu so vstupným rozhraním zvukového kodeku. Po overení funkčnosti navrhnutých zapojení v simulačnom programe a na testovacích doskách plošných spojov, som následne navrhol DPS⁴ spolu so zdrojmi napájajúcich napätí a obvody indikácie úrovne spracovaného signálu. Z hľadiska funkcionality je práca doplnená o fantómové napájanie mikrofónového vstupu a slúchadlový výstup. Na hotovom výrobku sú ďalej zmerané hlavné parametre prenosu zvuku.

¹Analógovo-digitálny

²Digitálno-analógový

³Universal serial bus - univerzálna sériová zbernica

⁴Doska plošných spojov

1 AUDIO KODEK

Audio kodek je dátový prevodník ktorý predstavuje základnú jednotku zvukovej karty. Podľa typu a použitia obsahuje niekoľko funkčných blokov pod jedným púzdrom. Základ kodeku najčastejšie tvorí antialiasingový filter, A/D alebo D/A prevodník, rekonštrukčný filter a digitálne dátové rozhranie, prípadne ovládacie rozhranie. Vstupno-výstupné digitálne rozhranie je možné po dátovej zbernici prepojiť s jednotkou signálového spracovania.

V tejto práci je však potrebné zvukové vzorky spracovať na prenos po dátovej zbernici USB, kde budú následne odoslané do počítača. V prípade prehrávania zvukových súborov z počítača funguje popísaný reťazec obrátene. Pre realizáciu tejto práce je teda výhodné použiť audio kodek s integrovaným USB ovládačom, ktorý by umožnil priamu komunikáciu medzi počítačom a zvukovou kartou.

1.1 Audio kodek bez USB

1.1.1 NXP Semiconductors UDA1341TS1

Jednou z možností návrhu zvukovej karty je použitie audio kodeku bez priamo integrovaného USB ovládača. Príkladom podobného kodeku je UDA1341TS1 od polovodičovej sekcie spoločnosti Philips NXP Semiconductors. Okrem detekcie vstupného prebudenia integruje viaceré digitálne programovateľné funkcie, medzi ktoré patrí programovateľné zosilnenie mikrofónového predzosilňovača, nastavenie hlasitosti výstupu a digitálny ekvalizér. Podobne ako ostatné kodeky, UDA1341TS1 posiela a prijíma zvukové dáta cez digitálne rozhranie.

1.1.2 Digitálne rozhranie

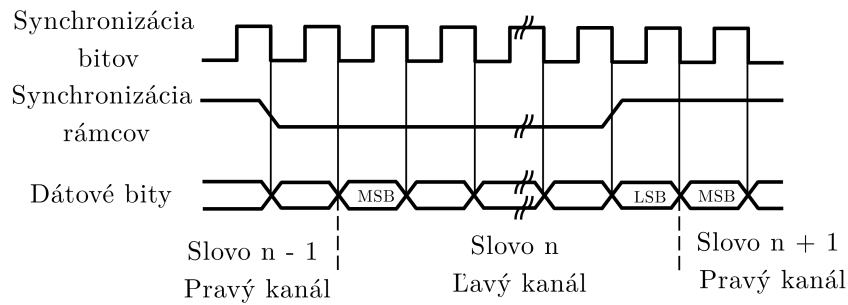
V zásade rozlišujeme dva druhy komunikácie medzi prevodníkom a zvukovým procesorom. Paralelnú a sériovú. Kým pri paralelnej komunikácii sú odosielané a prijímané všetky bity v jeden hodinový takt, čo vyžaduje väčšie množstvo dátových signálov, sériová komunikácia využíva bitový prúd a množstvo signálov sa výrazne zredukuje. Najčastejšie používaný je protokol sériového rozhrania I²S.

Jedná sa o sériový protokol, ktorý vyžaduje tri komunikačné signály zobrazené na obrázku 1.1: synchronizácia bitov, synchronizácia rámcov a dátový vstup resp. dátový výstup. I²S zbernica je schopná prenášať akýkoľvek objem dát, typicky však od 8 do 32 bitov s MSB¹ na začiatku a LSB² na konci rámca každého kanálu.

¹Most significant bit - najvýznamnejší bit

²Least significant bit - najmenej významný bit

Signál pre synchronizáciu rámcov definuje vzorkovaciu frekvenciu prevodu.



Obr. 1.1: Signálový tok I²S zbernice [1].

Existuje mnoho dostupných verzií audio kodekov so sériovým digitálnym rozhraním od svetoznámych výrobcov mikročipov. Nevýhodou realizácie USB zvukovej karty pomocou týchto kodekov je nutnosť implementovať USB komunikačný protokol samostatne. Práve z toho dôvodu je pre prácu vybraný audio kodek s integrovaným USB ovládačom.

1.2 Audio kodek s USB

1.2.1 Univerzálna sériová zbernica USB

USB je obojsmerná sériová zbernica vyvinutá už v roku 1994 používaná pre pripojenie periférií k osobným počítačom. V každej USB sústave nájdeme jeden USB HOST ku ktorému možno pripojiť viacero zariadení pomocou zbernice. Jednou z rady výhod USB je pripojenie plug-and-play čo znamená, že užívateľ nemusí pre správnu funkčnosť konfigurovať zariadenie manuálne. Inštalácia potrebných ovládačov sa prevedie automaticky po pripojení zariadenia.

Podľa špecifikácie [2] je prenosová rýchlosť USB 2.0 pri použití tienených vodičov maximálne 480 Mb/s, čo je pre dvojkanálovú zvukovú kartu dostačujúce. Dáta sú prenášané dvoma signálovými twisted-pair vodičmi. Ostatné dva vodiče zbernice slúžia na napájanie periférnych zariadení, čo je pre prenosné zvukové rozhranie veľkou výhodou. Napätie na napájacom vodiči je $U_{BUS} = 5\text{ V}$ a prúd odoberaný zariadením by nemal presiahnuť 500 mA.

1.2.2 Cmedia CM6502

Prenosné USB zvukové zariadenia pre nahrávanie a reprodukovanie zvuku patria medzi typické aplikácie tohto jednočipu. Obsahuje integrovaný USB ovládač kompatibilný so špecifikáciou USB 2.0. Výrobca navyše udáva kompatibilitu s USB Audio

Class 1.0 [4], ktorá popisuje minimálne nároky a charakteristiky zvukového zariadenia, ktoré musí zariadenie spĺňať pre kompatibilitu s USB. Podobne kompatibilita s USB HID špecifikáciou má zaručiť správnu funkcionálnosť zariadenia, ktoré interaguje s človekom.

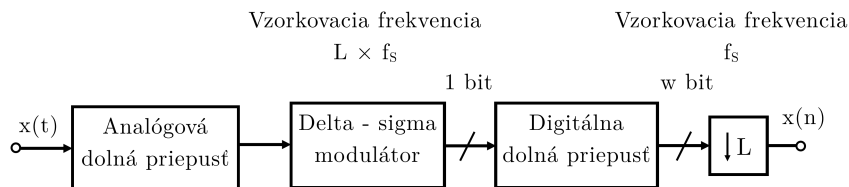
CM6502 nevyžaduje žiadny špeciálny softvérový ovládač a funguje ako plug-and-play zariadenie. Pomocou ovládacieho rozhrania I²C alebo prístupu externého zariadenia k pamäti kodeku, je možné meniť nastavenie parametrov A/D a D/A prevodu a ostatných funkcií, medzi ktoré patrí tiež päťpásmový digitálny ekvalizér. CM6502 obsahuje pred A/D prevodníkom na vstupnej časti mikrofónový predzosilňovač s programovateľným nastavením zosilnenia. Rovnako za D/A prevodníkom na výstupnej časti nájdeme slúchadlový zosilňovač. Práve táto možnosť zjednodušuje použitie CM6502, no pre túto prácu je vhodnejšie použiť kodek bez integrovaných zosilňovačov a predzosilňovačov.

1.2.3 Texas Instruments PCM2900

Tento jednočip je vyrábaný v dvoch prevedeniach v rovnakom púzdre. Vo verzii PCM2902 je navyše doplnené digitálne zvukové rozhranie S/PDIF. Podobne ako CM6502 obsahuje integrovaný USB ovládač, vďaka ktorému použitie kodeku nevyžaduje vývoj zvláštnych softvérových ovládačov a operačný systém ich automaticky rozozná ako zvukový vstup resp. zvukový výstup. Vnútorne USB rozhranie podporuje prenos dát v plnej rýchlosti a je plne kompatibilné so špecifikáciou USB 2.0.

Na prevod analógového signálu do digitálnej podoby je použitý delta-sigma prevodník, ktorý využíva niekoľkonásobné prevzorkovanie a tvarovanie šumu tzv. noise shaping pre dosiahnutie vysokého rozlíšenia a lepších šumových vlastností. Výsledný výkon kvantizačného šumu sa rozprestrie do celého frekvenčného spektra vrátane oblastí, v ktorých má ľudské ucho nižšiu citlivosť. Po prechode vstupného signálu analógovým dolnopriepustným filtrom nasleduje delta-sigma modulátor s L-násobným prevzorkovaním podľa blokového zapojenia na obrázku 1.2. Delta-sigma modulátor obsahuje základné bloky : integrátor, komparátor a D preklápací obvod. Analógová hodnota vstupného signálu odpovedá modulovanému pulznému signálu na výstupe modulátoru. Digitálny dolnopriepustný filter následne spriemeruje modulovaný signál a po L-násobnom podvzorkovaní je výsledkom sériová postupnosť dát [3]. Integrovaný antialiasingový filter potlačuje frekvenčné zložky signálu, ktoré presahujú frekvenciu podľa Nyquistovho teóremu, čo zabraňuje vzniku vyšších spektrálnych zložiek v navzorkovanom signále. Audio kodek PCM2900 obsahuje taktiež digitálny hornopriepustný filter na vstupe a analógový dolnopriepustný filter na výstupe.

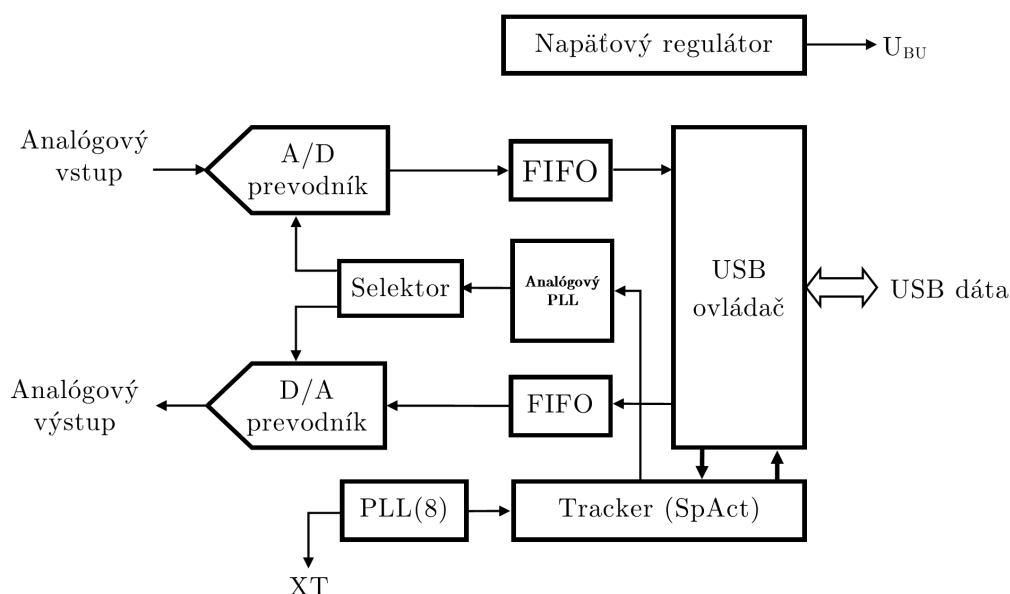
Prehrávanie zvukových vzorkov prebieha v adaptívnom a záznam v asynchrónnom móde, podľa špecifikácie USB Audio Class [4]. Asynchrónne zariadenia prijí-



Obr. 1.2: Bloková schéma delta-sigma prevodníka [3].

majú alebo odosielajú dáta v intervaloch riadených interným zdrojom hodinových impulzov. Nepoužívajú teda pre časovanie dáta z USB a nie sú so zbernicou synchronizované. USB adaptívny režim zabezpečuje taktovanie viacerými rýchlosťami v rámci operačného rozsahu. Zariadenie dokáže prispôbiť svoj vnútorný proces tak, aby jeho vnútorné taktovanie zodpovedalo časovaniu na vstupnom resp. výstupnom rozhraní.

Na obrázku 1.3 je zobrazená vnútorná schéma kodeku s jeho hlavnými funkčnými blokmi. Pre riadenie digitálnych častí je použitý integrovaný generátor hodinových impulzov PLL³ s 12 MHz oscilátorom. Výrobca používa vlastnú architektúru SpAct, ktorá má umožniť prijímať hodinový signál z USB dátových paketov. V kombinácii s analógovými PLL generátormi je možné prehrávať a zaznamenávať zvukový signál s nezávislými vzorkovacími frekvenciami.



Obr. 1.3: Vnútorná blokovaná schéma obvodu PCM2900 [5].

³Phase locked loop - fázový záves

Napájanie je prispôsobené na napätie z USB zbernice. Pre stabilizáciu je použitý vnútorný napäťový regulátor ako zdroj pre analógovú a digitálnu časť zariadenia. Výrobca v dokumentácii [5] udáva, že kvalita prevedenia sa môže zvýšiť použitím externého napäťového regulátora pre napájanie kodeku, pričom záleží na vlastnostiach daného regulátora.

Tabuľka 1.1 slúži pre porovnanie prevodníkov vyššie popísaných kodekov. Podľa výrobcami udávaných hodnôt odstupe signálu od šumu a harmonického skreslenia sú medzi prevodníkmi len malé rozdiely. PCM2900 je pre prácu vybraný nielen kvôli vstavanému USB ovládaču ale taktiež z hľadiska dostupnosti na trhu.

Tab. 1.1: Porovnanie parametrov A/D a D/A prevodníkov popísaných kodekov.

Audio kodek	PCM2900C	CM6502	UDA1341TS
A/D prevodník			
Počet kanálov	2	2	2
Vzorkovacie frekvencie	8 kHz; 11,025 kHz; 16 kHz; 22,05 kHz; 32 kHz; 44,1 kHz; 48 kHz	44,1 kHz; 48 kHz	32 kHz; 44,1 kHz; 48 kHz
Bitová hĺbka	16 bit	16 bit	16, 18, 20 bit
THD+N	0,01 %	0,005 %	0,005 %
SNR	89 dB	90 dB	97 dB
D/A prevodník			
Počet kanálov	2	2	2
Vzorkovacie frekvencie	32 kHz; 44,1 kHz; 48 kHz	44,1 kHz; 48 kHz	32 kHz; 44,1 kHz; 48 kHz
Bitová hĺbka	16 bit	16 bit	16, 18, 20 bit
THD+N	0,005 %	0,005 %	0,003 %
SNR	96 dB	91 dB	100 dB

2 TEÓRIA NÁVRHU OBVODOV

2.1 Predzosilňovače

2.1.1 Použitie v nízkofrekvenčnej technike

V praxi je bežné, že jednotlivé známe zdroje zvuku ako mikrofóny či elektrické nástroje majú rôznu výstupnú impedanciu a generujú signál s rôznymi parametrami. V prípade, že je signál v zvukovom zariadení spracovaný v jednom bode a požiadavkou návrhu zariadenia je pripojiteľnosť viacerých druhov zdrojov zvuku, je potrebné vstupný signál prispôbiť pre jednotné spracovanie [6]. Pripojením zdroja zvuku s vysokou výstupnou úrovňou signálu na vstup zariadenia, ktoré je uspokojené na vstupné signály s nižšou úrovňou, by mohlo dôjsť k limitácii signálu alebo trvalému poškodeniu. V opačnom prípade ak by bol vstupný signál príliš nízky, jeho značná časť by zanikla v šume daného zariadenia. Pre správne nastavenie úrovne signálu slúžia práve predzosilňovače. Nároky na ich parametre sa podstatne líšia podľa systému v ktorom sú použité.

2.1.2 Rozdelenie predzosilňovačov

Predzosilňovače ako časti výkonových zosilňovacích systémov umožňujú okrem výberu zdroja zvuku a nastavenia hlasitosti taktiež nastavenie stereobázy a ekvalizácie signálu pre kompenzáciu frekvenčných vlastností reproduktorov či akustiky miestnosti [7]. V tom prípade požadujeme od predzosilňovačov nízke skreslenie, vysoký odstup signálu od šumu, prenos v celom audiofrekvenčnom pásme, vysokú vstupnú a nízku výstupnú impedanciu. Rozdielna situácia nastáva v prípade gitarových zosilňovacích aparátov, kedy je často určité skreslenie naopak vyžadované a dodáva výslednému zvuku typické vlastnosti. V základe rozdeľujeme predzosilňovače podľa použitých komponentov na:

- aktívne
- pasívne

2.1.3 Pasívne predzosilňovače

Pasívne predzosilňovače neobsahujú žiadne aktívne prvky ako operačné zosilňovače alebo tranzistory a často sú tvorené jedným potenciometrom pre nastavenie hlasitosti na maximálnu úroveň 0 dB. Podobné prevedenie je nevýhodné z hľadiska vstupnej a výstupnej impedancie, ktorá je závislá na polohe potenciometra [6].

2.1.4 Aktívne predzosilňovače

Častejšie používané sú konštrukcie s aktívnymi prvkami, ktoré však vyžadujú zdroj napájania. V zásade je možné zostaviť návrh z diskretných prvkov (tranzistorov alebo elektróniek), operačných zosilňovačov alebo ich kombináciou. Keďže operačné zosilňovače pracujú najčastejšie v triede B alebo A-B, výhodou použitia diskretných prvkov je možnosť navrhnuť predzosilňovač v triede A s takmer nulovým prechodovým skreslením [6]. V prípade zdrojov zvuku s nízkou výstupnou impedanciou je možné použitím diskretných tranzistorov dosiahnuť lepšie šumové vlastnosti. Preto sa často pri návrhu používa kombinácia týchto dvoch spôsobov. V tejto práci je popísaný návrh mikrofónového a gitarového predzosilňovača použitím samotných operačných zosilňovačov.

2.1.5 Zosilnenie

Zosilnenie predzosilňovačov prispôbujeme citlivosti vstupu nasledujúceho bloku. Pre zlepšenie odstupu signálu od šumu je často snahou zosilniť signál na nominálnu úroveň 0 dBu [6]. Dynamický rozsah je možné zlepšiť potlačením úrovne šumu alebo zosilnením užitočného signálu. Zosilnenie je pri návrhu limitované maximálnym napájacím napätím a signál možno zosilniť len do úrovne, kedy nedochádza k skresleniu.

2.2 Operačné zosilňovače

2.2.1 Základný popis

Napätové operačné zosilňovače OZ sú aktívne elektronické prvky s diferenčným vstupom. Neinvertujúci vstup zachováva polaritu vstupného signálu. Invertujúci vstup otáča polaritu vstupného signálu tzn. že kladný vstupný signál bude na výstupe záporný. Vďaka technikám spätnej väzby, ktoré majú vplyv na prenosové charakteristiky sú používané v mnohých odvetviach a aplikáciách ako jednosmerné a striedavé zosilňovače a prevodníky, komparátory alebo oscilátory. Môžu byť taktiež použité v obvodoch vykonávajúcich matematické operácie. Ich vnútorná štruktúra je zložená z polovodičových diskretných prvkov.

2.2.2 Vlastnosti ideálneho OZ

Integrované zapojenie je uspôsobené pre dosiahnutie parametrov blížiacim sa k ideálnym ktoré sú [8]:

- Nekonečne veľké zosilnenie
- Nekonečne veľká vstupná impedancia
- Nulová výstupná impedancia
- Nulový čas prebehu. Zmena na vstupe sa prejaví na výstupe bez oneskorenia
- Lineárna prenosová charakteristika v celom frekvenčnom pásme
- Nulová jednosmerná zložka na výstupe ak je medzi invertujúcim a neinvertujúcim vstupom nulový potenciál

2.2.3 Záporná spätná väzba

Vlastnosti zapojenia s operačným zosilňovačom je možné vo veľkej miere meniť použitím zápornej spätnej väzby. Privedenie určitej časti výstupného signálu späť na vstup zabezpečuje odozvu medzi vstupom a výstupom. Použitie zápornej spätnej väzby v konečnom dôsledku znižuje zosilnenie na úkor zlepšenia ostatných parametrov, konkrétne [6]:

- Zlepšuje stabilitu zosilnenia
- Zväčšuje šírku prenosového pásma
- Zväčšuje vstupnú a znižuje výstupnú impedanciu
- Znižuje skreslenie

2.2.4 Základné zapojenia

Všeobecne rozlišujeme dva základné typy zapojení s operačným zosilňovačom:

- Invertujúce zapojenie
- Neinvertujúce zapojenie

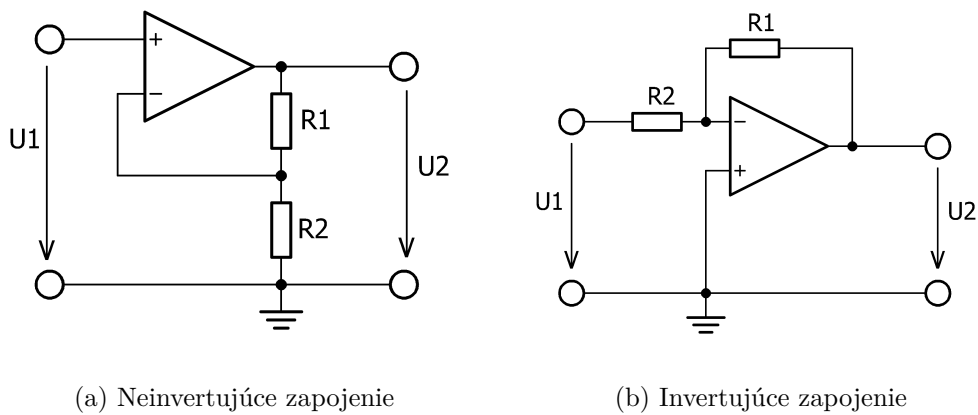
V tejto práci bude operačný zosilňovač vo väčšine prípadov v neinvertujúcom zapojení so zápornou spätnou väzbou. Zapojenie vidieť na obrázku 2.1. Principiálne možno veľmi jednoducho odvodiť závislosť zosilnenia na hodnotách odporov použitých spätnoväzbových rezistorov [8]. Keďže zosilňovač udržiava medzi invertujúcim a neinvertujúcim vstupom nulový potenciál, podľa známeho vzťahu pre výpočty s odporovým deličom je možné určiť závislosť medzi vstupným a výstupným napätím.

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times U_2 \quad [\text{V}] \quad (2.1)$$

Následnou úpravou odvodíme výsledný vzťah pre výpočet výstupného napätia.

$$U_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times U_1 \quad [\text{V}] \quad (2.2)$$

Výhodou neinvertujúceho zapojenia je, že vstupná impedancia je rovná priamo vstupnej impedancie diferenčného vstupu operačného zosilňovača. V ideálnom prípade je nekonečná, do vstupov teda tečie nulový prúd a oba vstupy sú na rovnakom potenciály. V reálnej praxi tento odpor však nie je nekonečný, preto je potrebné voliť hodnoty odporov rezistorov rádovo menšie, no zároveň dostatočne veľké na to aby príliš nezatažili výstup operačného zosilňovača.



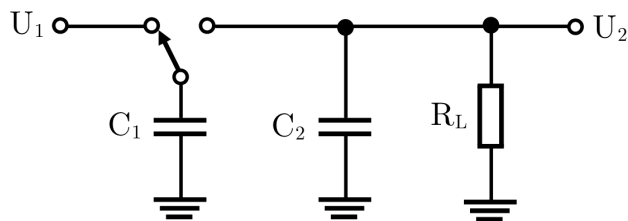
Obr. 2.1: Základné zapojenia operačných zosilňovačov.

Pri návrhu USB zvukovej karty je potrebné vyberať aktívne prvky, ktoré sú schopné pracovať pri nižších napájacích napätíach. Návrhy jednotlivých obvodov mikrofónového a gitarového predzosilňovača vychádzajú z odporúčaných zapojení daných typov operačných zosilňovačov. Operačné zosilňovače sú najčastejšie napájané symetrickým zdrojom napätia, ktorý je možné realizovať napäťovým konvertorom.

2.3 Obvod so spínaným kondenzátorom

Pre dosiahnutie napätia s opačnou polaritou voči kladnému napájaciemu napätíu je v práci použitý napäťový konvertor, ktorý pracuje na princípe obvodu so spínaným kondenzátorom. Základný princíp činnosti spínaného zdroja podľa technickej dokumentácie použitého napäťového konvertoru [9] je možné popísať podľa schémy zapojenia na obrázku 2.2.

V prípade, že je prepínač v polohe vľavo, kondenzátor C_1 sa nabije na vstupné napätie a jeho celkový náboj je možné určiť podľa vzťahu 2.3. Prepnutím prepínača



Obr. 2.2: Principiálna schéma obvodu so spínaným kondenzátorom [9]

do polohy vpravo sa energia preniesie na výstup, kondenzátor sa vybije a jeho celkový náboj Q možno určiť podobne podľa vzťahu 2.3. Kondenzátor C_2 dodáva energiu počas fáze nabíjania spínaného kondenzátora a rezistor R_L predstavuje záťaž obvodu.

$$Q_{1,2} = C \times U_{1,2} \quad [C] \quad (2.3)$$

Zmenu náboja predstavuje rozdiel týchto dvoch výrazov.

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (2.4a)$$

$$= C \times (U_1 - U_2) \quad [C] \quad (2.4b)$$

Následne je zřejmé, že ΔQ je teda množstvo náboja preneseného zo zdroja U_1 do zdroja U_2 . S tým spojený elektrický prúd I je množstvo náboja preneseného za časový úsek T podľa vzťahu:

$$I = \frac{\Delta Q}{T} \quad (2.5a)$$

$$= \frac{C \times (U_1 - U_2)}{T} \quad (2.5b)$$

$$= C \times (U_1 - U_2) \times f \quad [A] \quad (2.5c)$$

Spínaný kondenzátor je teda pripojený medzi dvoma napäťovými bodmi a možno ho nahradiť ekvivalentným odporom R , ktorým preteká prúd I podľa vzťahu:

$$I = \frac{U_1 - U_2}{R} \quad [A] \quad (2.6)$$

Ekvivalentný odpor R je teda závislý na kapacite C a frekvencii spínania f podľa vzťahu:

$$R = \frac{1}{C \times f} \quad [\Omega] \quad (2.7)$$

Pomocou konvertoru pracujúcom na popísanom princípe možno vytvoriť oddelené nezávislé zdroje napätia s opačnou polaritou.

3 NÁVRH OBVODOV

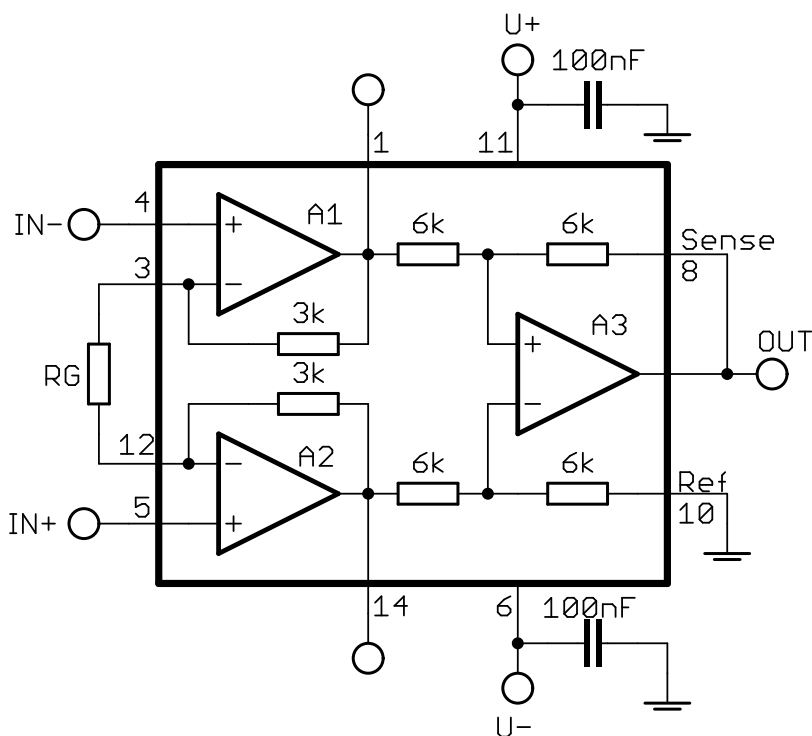
3.1 Mikrofónový predzosilňovač

3.1.1 Symetrické vedenie signálu

V praxi sa najčastejšie pre prenos signálu z kondenzátorového mikrofónu využíva trojvodičové symetrické vedenie. Priamy signál je prenášaný vodičom HOT a druhým vodičom COLD je prenášaný signál opačnej polarity so spoločnou zemou. Týmto spôsobom je dosiahnutý väčší odstup signálu od šumu a viesť signál je možné na dlhšie vzdialenosti. Na mieste odčítania oboch signálov sa šumové zložky vrušia a výsledná úroveň signálu je o 6 dB vyššia [6].

3.1.2 Diferenčný zosilňovač

Hlavnou požiadavkou pri návrhu mikrofónového predzosilňovača je diferenčný vstup. V tejto práci je použitý integrovaný obvod INA163 od výrobcu Texas Instruments, ktorého vnútorná štruktúra je zobrazená na obrázku 3.1. Zapojenie pozostáva z troch operačných zosilňovačov v jednom púzdre.



Obr. 3.1: Vnútorne zapojenie integrovaného obvodu INA163 [10].

Samotný operačný zosilňovač bez spätnej väzby je vo svojej podstate diferenčný zosilňovač, keďže zosilňuje rozdiel napätí medzi oboma vstupmi. Bez spätnej väzby však nie je možné riadiť zosilnenie a parametre zosilňovača sú všeobecne horšie. Pridaním spätnej väzby podľa obrázka 2.1 v neinvertujúcom zapojení však stratíme jeden zo vstupov a zosilňovač bude schopný spracovať len nesymetrický signál prenášaný jedným vodičom voči zemi. Riešením je zapojenie obvodu ako rozdielového zosilňovača, ktorého výstupom je rozdiel medzi oboma vstupmi.

Jedná sa o zosilňovač A_3 vo vnútornej štruktúre integrovaného obvodu na obrázku 3.1 spolu s rezistormi s hodnotami odporov $R = 6 \text{ k}\Omega$ zapojenými v spätnej väzbe. Výstupné zosilnenie je možno riadiť zmenou hodnôt spätnoväzbových rezistorov. Z praktického hľadiska však nie je jednoduché meniť hodnoty prvkov naraz tak, aby sa zachovala symetria signálu. Ďalšou nevýhodou by bola pomerne nízka vstupná impedancia zapojenia. Riešením je prídanie dvoch zosilňovačov A_1 a A_2 v neinvertujúcom zapojení na každý z rozdielových vstupov podľa obrázka 3.1 (fyzické vývody integrovaného obvodu 1 a 14). Tým je dosiahnutá vysoká vstupná impedancia oboch diferenčných vstupov a zároveň možnosť meniť celkové zosilnenie zapojenia jedným ovládacím prvkom R_G .

3.1.3 Zosilnenie

Externý rezistor R_G sa pripája na vývody 3 a 12 podľa obrázka 3.1. Napätové zosilnenie obvodu A_U v závislosti na zmene hodnoty odporu rezistora R_G je podľa výrobcu v technickej dokumentácii obvodu [10] dané vzťahom:

$$A_U = 1 + \frac{6000}{R_G} \quad [-] \quad (3.1)$$

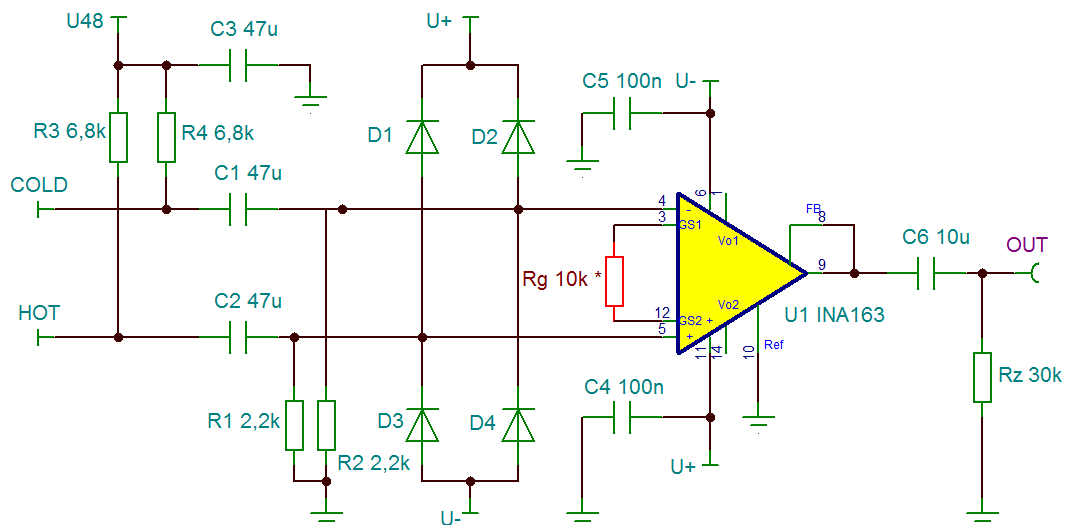
Keďže šírka prenášaného pásma sa znižuje pri vysokých hodnotách zisku, je vhodné rozsah zosilnenia obmedziť rezistorom s hodnotou odporu $R_G = 62 \Omega$ z vyrábanej rady E24 radením v sérii s hlavným potenciometrom. V prípade, že potenciometer je v nulovej polohe, zosilnenie bude podľa vzťahu:

$$A_U = 1 + \frac{6000}{62} = 98 \quad [-] \quad (3.2)$$

Prepočtom na úroveň v jednotkách dB získame maximálnu úroveň zosilnenia zosilňovača $A_{\text{UdB}} = 40 \text{ dB}$. Podobným spôsobom je určená spodná hranica zosilnenia potenciometrom s maximálnou hodnotou odporu $R_G = 10 \text{ k}\Omega$. Minimálna úroveň zisku je teda $A_{\text{UdB}} = 4 \text{ dB}$.

3.1.4 Návrh obvodových prvkov

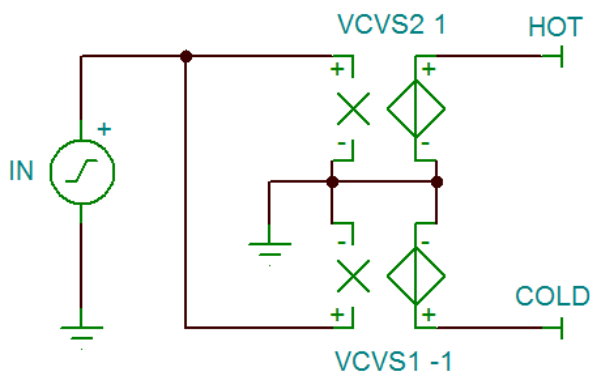
V schéme zapojenia na obrázku 3.2 je stred signálu na zemnom potenciály, no analógový vstup audio kodeku PCM2900 následne centruje signál na polovicu napájacieho napätia. Umiestnením kondenzátora C_6 na výstup predzosilňovača je dosiahnutý prenos signálu bez jednosmerného posunutia. Na výstupe zosilňovača je pri simulácii pripojený zťažovací rezistor R_Z s hodnotou odporu $R_Z = 30\text{ k}\Omega$, zvolený podľa vstupnej impedancie analógového vstupu audio kodeku. Rezistory s označením R_1 a R_2 slúžia pre nastavenie kludového prúdu oboch vstupov. Ich hodnoty odporov sú podľa doporučeného zapojenia v technickej dokumentácii [10] $R_1 = R_2 = 2,2\text{ k}\Omega$. Štyri diódy v mostíkovom zapojení chránia vstup predzosilňovača pred výbojmi statickej elektriny a pred rázovými špičkovými napätiami, ktoré vznikajú pri pripájaní a odpájaní mikrofónu v dobe, kedy je zariadenie zapnuté. V prípade, že sa na vstupe objaví napätie vyššie ako napájacie v súčte s prahovým napätím diódy, príslušná dióda sa otvorí a odvedie vzniknutý výboj do zeme. Elektrolitické kondenzátory s označením C_1 a C_2 slúžia na blokovanie jednosmerného fantómového napätia a musia byť dimenzované na vyššie napätie. Napájanie obvodu je odrušené filtračnými kondenzátormi C_4 a C_5 s kapacitou 100 nF .



Obr. 3.2: Schéma zapojenia mikrofónového predzosilňovača v simulačnom programe.

3.1.5 Simulácia

Pre overenie funkčnosti a správnych nastavení úrovni je použitý simulačný program Tina-TI. Pre plnohodnotné výsledky je potrebné simulovať vstupné signály na vodičoch HOT a COLD symetrického vedenia. Jednoduchý spôsob je použiť dva generátory, no program nedovoľuje simulovať striedavú prenosovú charakteristiku v zapojení s dvoma zdrojmi signálu. Z toho dôvodu sú použité napäťové zdroje ovládané napätím s opačnou hodnotou zosilnenia v zapojení podľa obrázka 3.3.



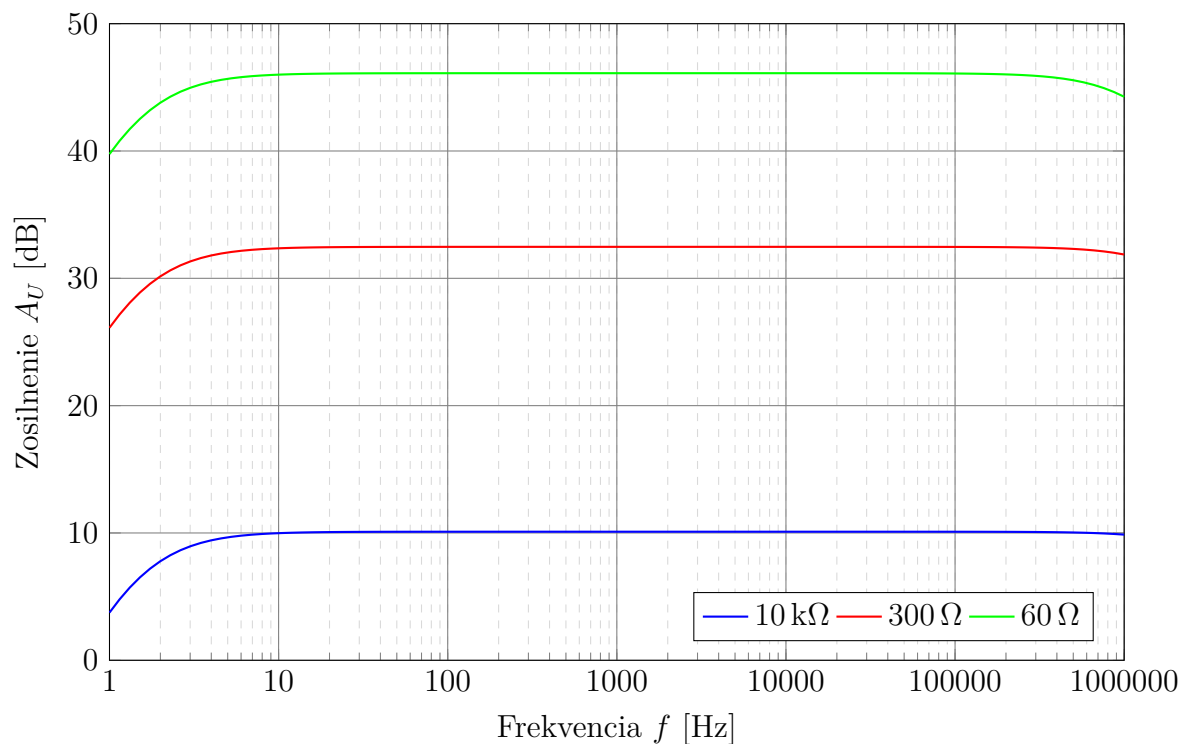
Obr. 3.3: Simulácia symetrického zdroja signálu v simulačnom programe.

Frekvenčná závislosť zosilnenia obvodu je zobrazená na obrázku 3.4. Zosilnenie je krokované zmenou odporu rezistora R_G od najmenšieho zosilnenia po najväčšie. Výsledný zisk je o 6 dB vyšší kvôli symetrickému vedeniu signálu. Z výslednej charakteristiky na obrázku 3.4 je zrejmé, že obvod dosahuje lineárny prenos v celom audiofrekvenčnom pásme od 20 Hz do 20 kHz v rozpätí navrhnutého zosilnenia. Závislosť fázového posunu na frekvencii signálu je zobrazená na obrázku 3.5. Pri nižšom zisku je závislosť lineárna v celom audiofrekvenčnom pásme. Pri maximálnom zosilnení je vidieť mierny fázový posun v oblasti vysokých frekvencií.

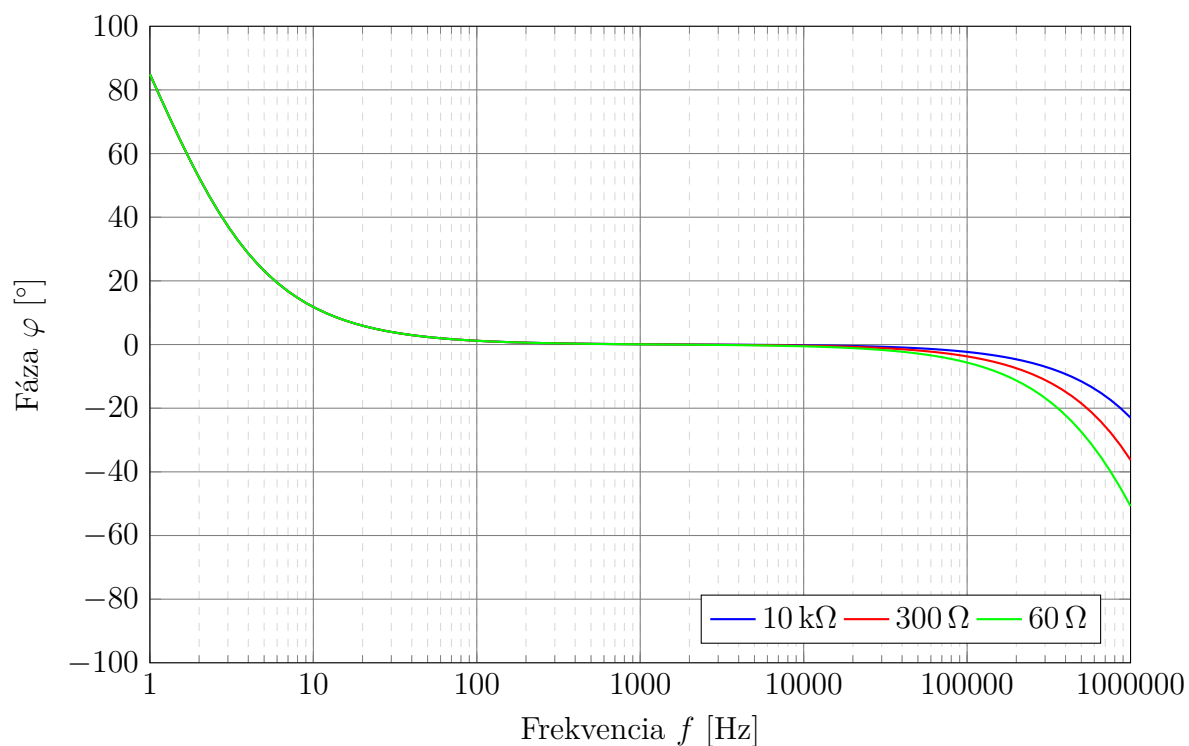
3.1.6 Harmonické skreslenie

Simulačný program Tina-TI umožňuje pomocou Fourierovej analýzy počítat Fourierovu radu výstupného signálu a tým zistiť pomer základnej harmonickej zložky a vyšších harmonických zložiek signálu. Keďže zdroj signálu v simulačnom prostredí generuje ideálny sínusový priebeh s frekvenciou 1 kHz, je takto možné určiť harmonické skreslenie obvodu. Úroveň harmonického skreslenia THD¹ je pri maximálnom zisku obvodu 0,004 % a 0,0017 % pri minimálnom zisku.

¹Total harmonic distortion - harmonické skreslenie



Obr. 3.4: Prenosová charakteristika mikrofónového predzosilňovača.

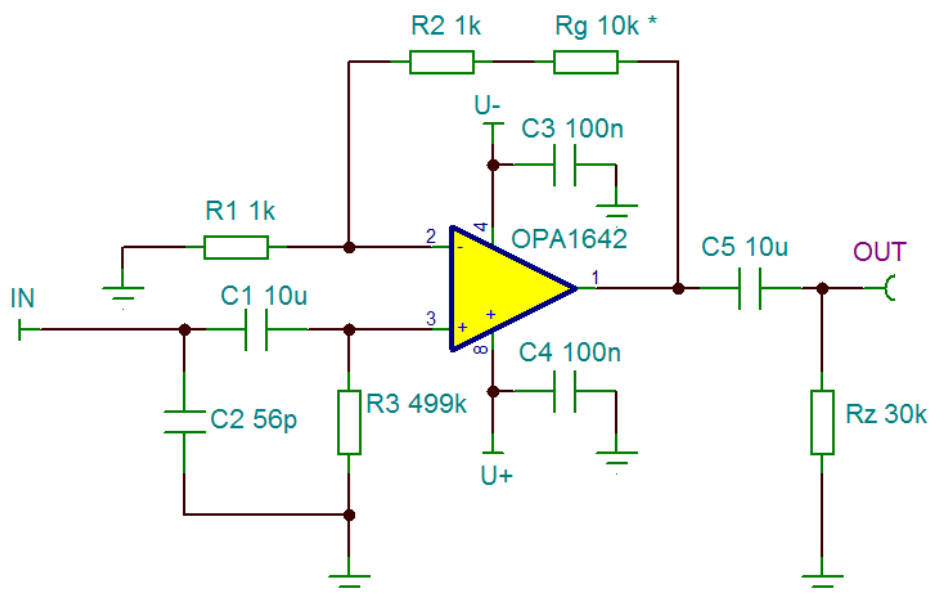


Obr. 3.5: Fázová charakteristika mikrofónového predzosilňovača.

3.2 Gitarový predzosilňovač

3.2.1 Návrh obvodu použitím OPA1641

Pre obvod gitarového predzosilňovača je použitý operačný zosilňovač s označením OPA1641. Podľa technickej dokumentácie výrobcu [11] je prednostne určený pre audio aplikácie vďaka nízkemu šumu a skresleniu. Pre napájanie je možné použiť zdroj s nízkou úrovňou napätia už od $\pm 2,25\text{ V}$, čo je pri návrhu zariadenia napájaného z USB dôležitý parameter. Operačný zosilňovač je zapojený v neinvertujúcom zapojení s potenciometrom pre reguláciu zosilnenia v spätnej väzbe, doplnený o vstupný filtračný obvod.

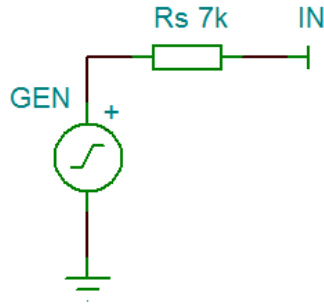


Obr. 3.6: Schéma zapojenia gitarového predzosilňovača.

3.2.2 Nesymetrické vedenie signálu

Signál z elektrických hudobných nástrojov vrátane gitary je prenášaný nesymetrickým vedením. Práve v tom je hlavný rozdiel medzi návrhom mikrofónového a gitarového predzosilňovača. Vstup teda obsahuje len jeden signálový vodič voči zemi. V prípade elektrickej gitary generuje premenlivý signál pasívny elektromagnetický snímač s vysokou výstupnou impedanciou. Aktívne snímače majú výstupnú impedanciu rádovo nižšiu. V rámci simulácie pasívneho gitarového snímača je použitý generátor sínusového signálu spolu s rezistorom R_S , ktorý reprezentuje výstupnú impedanciu snímača podľa zapojenia na obrázku 3.7. Keďže gitarový snímač tvorí

cievka navinutá na permanentných magnetoch, okrem užitočného signálu indukovaného pohybom strún zachytáva tiež okolité rušenie, najmä rádiové vysokofrekvenčné zložky. Návrh je preto vhodné doplniť o RC² obvody pre odfiltrovanie rušivých frekvencií.



Obr. 3.7: Simulácia výstupnej impedancie gitarového snímača.

3.2.3 Dolnopriepustný filter

Výstupná impedancia snímača reprezentovaná rezistorom R_S spolu s kondenzátorom C_2 na vstupe predzosilňovača tvoria dolnopriepustný RC filter. Úpravou vzťahu 3.3 pre výpočet medznej frekvencie RC filtra prvého rádu citovaného zo zdroja [12] zistíme kapacitu kondenzátora pri požadovanej medznej frekvencii $f_{LPF} = 400$ kHz. Takto zvolená medzná frekvencia spôsobí potlačenie vysokofrekvenčných zložiek a zároveň nedôjde k výraznej zmene fázovej charakteristiky v blízkosti hranice ľudského sluchu 20 kHz. Hodnota odporu $R_S = 7\text{ k}\Omega$ je zvolená podľa literatúry [13] ako typická hodnota výstupnej impedancie gitarového snímača.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times R \times C} \quad [\text{Hz}] \quad (3.3)$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi \times R_S \times f_{LPF}} = \frac{1}{2\pi \times 7000 \times 400000} = 56,8 \text{ pF} \quad (3.4)$$

Podľa rady vyrábaných kondenzátorov E24 je zvolená najbližšia hodnota kapacity $C_2 = 56$ pF.

3.2.4 Hornopriepustný filter

Podobne rezistor R_3 a kondenzátor C_1 tvoria hornopriepustný filter pre odstránenie jednosmernej zložky signálu. Kapacita kondenzátoru C_1 nesmie byť príliš vysoká kvôli nepraktickým rozmerom súčiastky a súčasne príliš nízka aby obvod filtroval len

²Resistor capacitor - Rezistor kondenzátor

jednosmernú zložku. Zvolená je kapacita $C_1 = 10 \mu\text{F}$ ako často používaná hodnota v nízkofrekvenčnom návrhu. Rezistor R_3 musí mať výrazne vyššiu hodnotu odporu ako je výstupná impedancia gitarového snímača aby nedošlo k úbytku napätia na odporovom deliči, ktorý tvoria rezistory R_S a R_3 . Zvolená je hodnota $R_3 = 510 \text{ k}\Omega$ z rady E24. Výpočet medznej frekvencie je podobne ako v predchádzajúcom prípade podľa vzťahu:

$$f_{HPF} = \frac{1}{2\pi \times R_3 \times C_1} = \frac{1}{2\pi \times 510000 \times 0,00001} = 0,03 \text{ Hz} \quad (3.5)$$

3.2.5 Zosilnenie

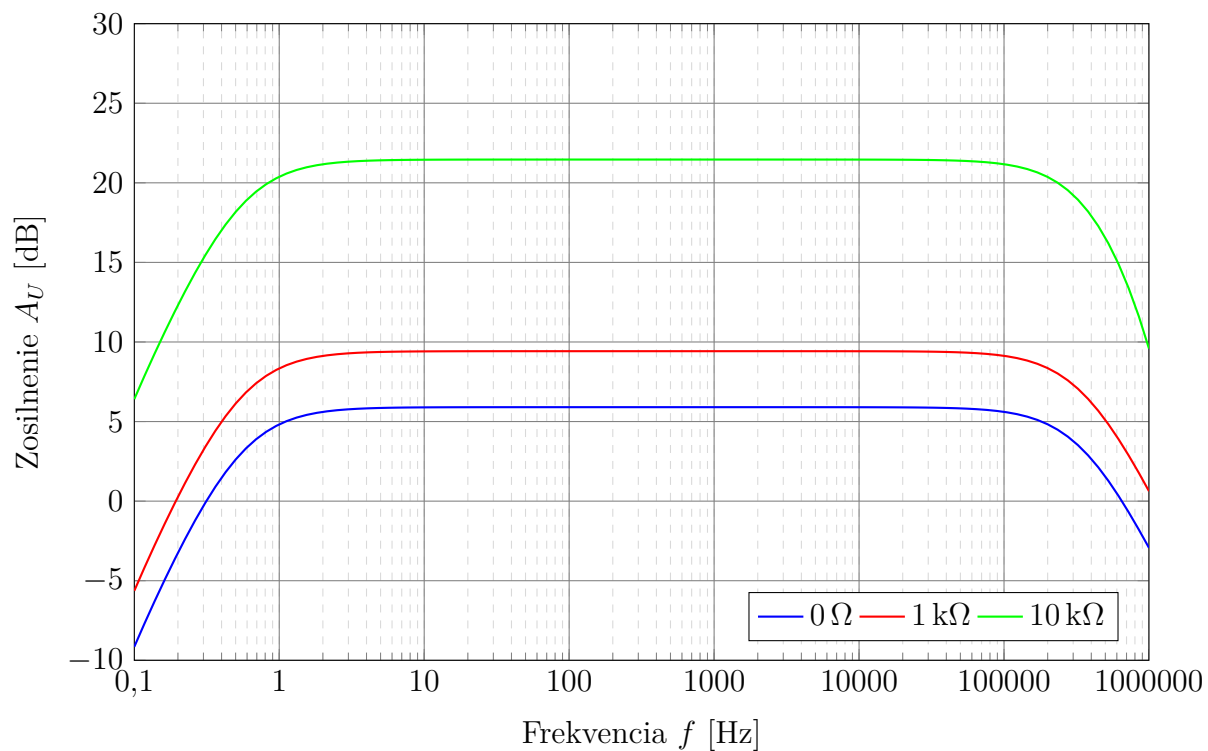
Amplitúda výstupného signálu snímačov elektrickej gitary ako aj ostatných elektrických nástrojov je niekoľkonásobne vyššia ako úroveň výstupu štúdiových mikrofónov. Zosilnenie predzosilňovača je preto dostačujúce zvoliť 20 dB, čo odpovedá 10násobnému napätovému zosilneniu. Rezistory R_1 a R_2 s hodnotami odporov $R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ sú zvolené pre nízky šum a zároveň z hľadiska nízkeho zaťaženia operačného zosilňovača. Pri určení hodnoty odporu rezistora R_G , ktorým bude nastavované zosilnenie vychádzame zo vzťahu 2.2 pre výpočet výstupného napätia neinvertujúceho zapojenia s operačným zosilňovačom. Rezistor R_G je v sériovom zapojení s rezistorom R_2 .

$$A_U = \frac{U_2}{U_1} = 1 + \frac{R_2 + R_G}{R_1} = 1 + \frac{1 + 10}{1} = 12 \quad [-] \quad (3.6)$$

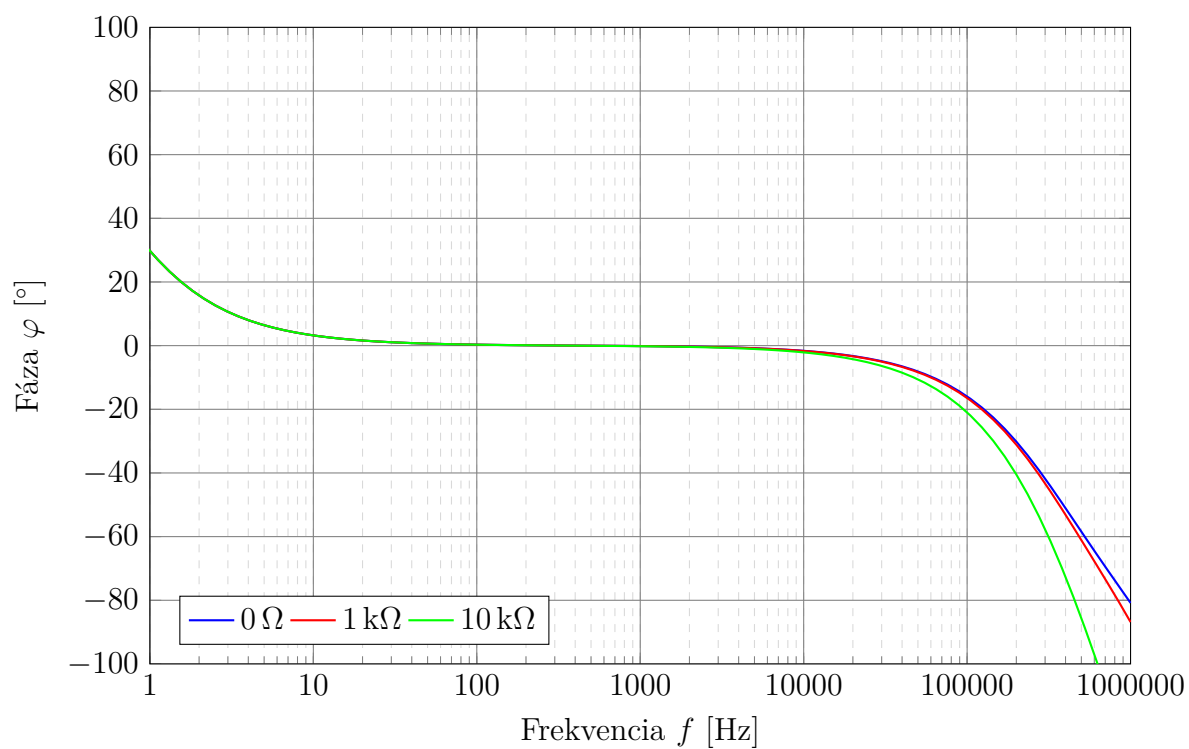
$$A_{UdB} = 20 \times \log(A_U) = 20 \times \log(12) = 21,6 \text{ dB} \quad (3.7)$$

3.2.6 Simulácia

Medzná frekvencia $f_{HPF} = 0,03 \text{ Hz}$ hornopriepustného filtra nespôsobí výrazné zmeny v priebehu frekvenčnej závislosti fázového posunu obvodu v okolí hranice počuteľnosti ľudského sluchu na nízkych frekvenciách. Výsledná frekvenčná závislosť fázového posunu je zobrazená na obrázku 3.9 a závislosť zosilnenia na obrázku 3.8. Obe simulácie sú prevedené pre viaceré hodnoty zosilnenia zmenou hodnoty odporu späťnoväzbového rezistora R_G . Harmonické skreslenie obvodu THD je podľa simulácie 0,01 %.



Obr. 3.8: Prenosová charakteristika gitarového predzosilňovača.



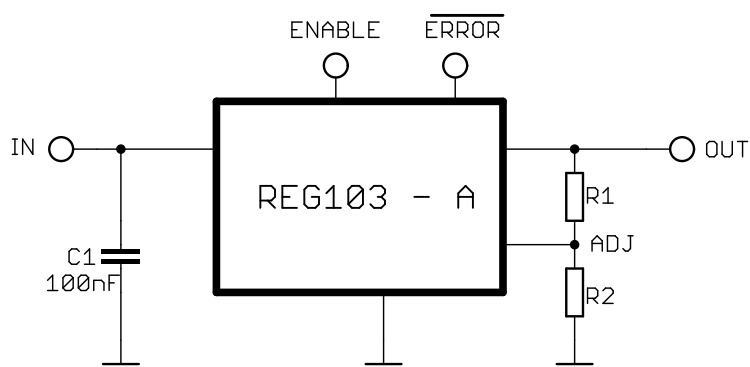
Obr. 3.9: Fázová charakteristika gitarového predzosilňovača.

3.3 Návrh hlavného obvodu kodeku PCM2900

3.3.1 Napájací napätový regulátor

Pre správnu funkčnosť a dosiahnutie optimálnych parametrov digitálnych obvodov kodeku je veľmi dôležitý návrh zdroja napájacieho napätia. Nízke napätie môže znamenať obmedzený rozsah meraných napätí na vstupe, kedy neprichádza k skresleniu. Výhodou je naopak menší prúdový odber operačných zosilňovačov v štruktúrach delta-sigma prevodníkov. Stabilita referenčného napätia prevodníkov vo veľkej miere vplyva na posun výstupných napätí medzi jednotlivými stupňami prevodu. Podľa technickej dokumentácie PCM2900 [5] je možné použitím externého napätového regulátora 10krát zlepšiť harmonické skreslenie A/D prevodu.

V návrhu je použitý regulátor s označením REG103-A s nastaviteľným výstupným napätím podľa odporúčaného zapojenia od výrobcu [14]. Vyznačuje sa nízkym poklesom výstupného napätia $\Delta U = 115 \text{ mV}$ pri maximálnom výstupnom prúde $I_{\text{MAX}} = 500 \text{ mA}$ dodávanom do zariadenia. Dôležitým parametrom je taktiež nízky vlastný šum regulátora $U_n = 33 \mu\text{V}_{\text{RMS}}$. Výstupné napätie je nastavované pomocou napätového deliča z výstupu regulátora pripojeného na nastavovací pin ADJ podľa obrázka 3.10. Zatažovací prúd nastavovacieho pinu $I_{\text{ADJ}} = 200 \text{ nA}$ výrazne neovplyvní napätie deliča. Hodnoty odporov rezistorov napätového deliča sú zvolené s ohľadom na prúdové zataženie výstupu regulátora.



Obr. 3.10: Zapojenie napätového regulátora REG103 [14].

Regulátor slúži pre vnútorné analógové napájanie kodeku. Optimálne napájacie napätie podľa výrobcu [5] je $U_{\text{CCCI}} = 3,67 \text{ V}$. Snahou bude teda vhodným návrhom dosiahnuť toto napätie na napájacom pine kodeku U_{CCCI} . Výrobca udáva závislosť výstupného napätia na hodnotách odporov 3.8 v technickej dokumentácii [14].

$$U_{\text{OUT}} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \times 1,295 \quad [\text{V}] \quad (3.8)$$

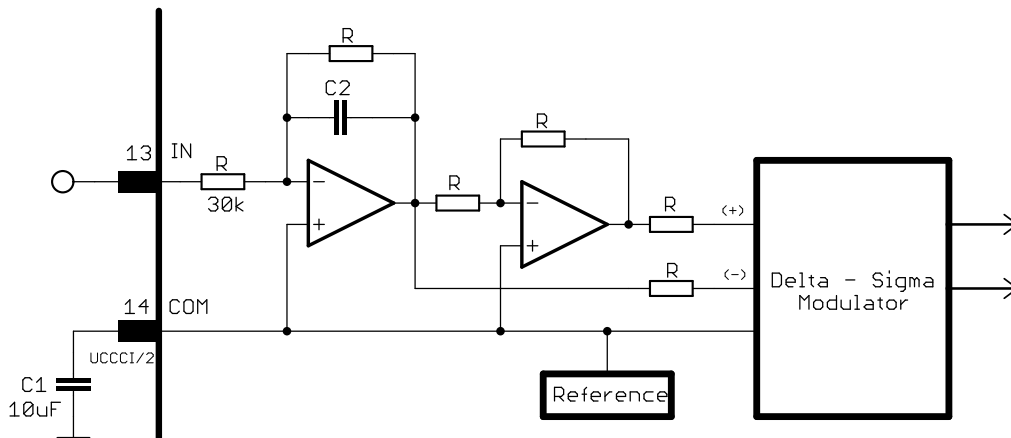
Hodnota odporu rezistora R_1 je zvolená s ohľadom na prúdové zaťaženie výstupu regulátora $R_1 = 27 \text{ k}\Omega$. Po úprave vzťahu 3.8 je hodnota odporu rezistora R_2 vypočítaná podľa 3.9. Výstupné napätie $U_{OUT} = 4 \text{ V}$ je zvolené vyššie kvôli úbytku napätia $U_F = 350 \text{ mV}$ na ochrannej dióde radenej sériovo medzi výstupom regulátora a napájacím pinom kodeku V_{CCCI} .

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{U_{OUT}}{1,295} - 1} = \frac{27}{\frac{4}{1,295} - 1} = 12,9 \text{ k}\Omega \quad (3.9)$$

Z odporovej rady E24 je zvolená najbližšia hodnota $R_2 = 13 \text{ k}\Omega$. Na vstup regulátora je privedené napätie priamo z USB cez paralelne radený blokovací kondenzátor. Podľa logickej úrovne na pine ENABLE je možné vypnúť a zapnúť regulátor. Zapínanie je riadené podľa operačného stavu kodeku zmenou logickej úrovne na pine SSPND.

3.3.2 Analógový vstup kodeku

PCM2900 disponuje analógovým nesymetrickým stereofónnym vstupom. V tejto práci sú ľavý a pravý kanál použité jednotlivo pre spracovanie signálov z mikrofónového a gitarového predzosilňovača. Vnútorňa štruktúra analógovej vstupnej jednotky jedného z kanálov je zobrazená na obrázku 3.11. Vstupný signál sa rozdelí dvoma operačnými zosilňovačmi v invertujúcom zapojení na invertovaný a neinvertovaný. Signály sú následne privedené do diferenčného vstupu delta-sigma prevodníka. Prevodníky oboch kanálov pracujú s rovnakým referenčným napätím rovným polovici napájacieho napätia $U_{CCCI}/2$.



Obr. 3.11: Vstupná analógová jednotka kodeku [5].

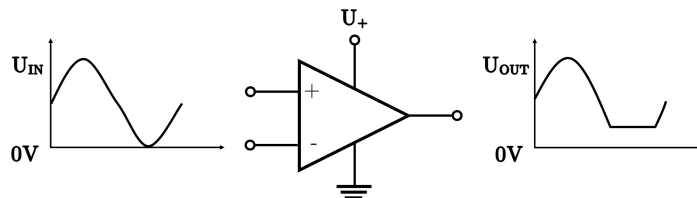
Analógový vstup je teda posunutý o jednosmernú zložku. Rozsah napätia vstupu kedy nedochádza k limitácii je podľa technickej dokumentácie [5]:

$$U_{MAX} = 0,6 \times U_{CCCI} = 0,6 \times 3,65 = 2,2 V_{PP} \quad (3.10)$$

3.4 Návrh napájacích zdrojov

3.4.1 Zdroj symetrického napätia

Pri návrhu nízkofrekvenčných analógových obvodov je potrebné brať do úvahy, že rozsah napätia vstupného a výstupného signálu, ktorý dokáže operačný zosilňovač spracovať nieje rovný celkovému rozsahu jeho napájacieho napätia. Na oboch vstupoch predzosilňovačov majú signály veľmi nízku úroveň, preto je potrebné zaoberať sa najmä výstupnými rozsahmi. Podľa technickej dokumentácie zosilňovača INA163 [10] sú maximálne a minimálne hodnoty výstupných napätí $U_{OUT+} = 3,2 V$ a $U_{OUT-} = 1,8 V$ pri nesymetrickom napájanom napätí 5 V. Rozdielom týchto hodnôt získame maximálny možný rozsah signálu na výstupe $U_{RMAX} = 1,4 V$ pri posunutí napätového stredu signálu o jednosmernú zložku. V tomto prípade by nebol využitý celkový rozsah analógového vstupu audio kodeku podľa výpočtu 3.10 a pri väčších hodnotách zosilnenia by dochádzalo k limitácii najmä záporných polvln signálu podľa obrázku 3.12. Na výstupe by nebolo možné dosiahnuť nulové napätie.



Obr. 3.12: Limitácia záporných polvln signálu.

Jedným z riešení je návrh napätového regulátora s nízkym záporným výstupným napätím, vďaka ktorému bude možné na výstupe operačného zosilňovača s nesymetrickým zdrojom napájania dosiahnuť nulové napätie. Nevýhodou by bola stále nutnosť posunutia signálu o jednosmernú zložku. Táto práca sa venuje riešeniu návrhu symetrického zdroja napájacieho napätia pre obvody predzosilňovačov, indikácie a slúchadlového zosilňovača.

3.4.2 Napätový konvertor LT1054

Pre návrh symetrického zdroja napájania je použitý bipolárny konvertor s označením LT1054 od spoločnosti Texas Instruments, ktorý pracuje na princípe spínania kondenzátorov a umožňuje taktiež reguláciu výstupného napätia. Vnútroňný oscilátor pracuje na menovitej frekvencii $f_N = 25 \text{ kHz}$, ktorú možno zvýšiť alebo znížiť privedením externého synchronizačného signálu. Podľa technickej dokumentácie výrobcu [9] je však frekvencia oscilátora navrhnutá tak, aby boli minimalizované spínacie straty. Zároveň táto frekvencia presahuje hranicu počuteľnosti ľudského ucha. Preto prípadný presluch rušenia zo zdroja do obvodov predzosilňovačov nespôsobí znehodnotenie užitočného zvukového signálu. Obvodové zapojenie zdroja symetrického napájania vychádza z odporúčaným zapojení s LT1054 podľa technickej dokumentácie výrobcu [9]. Spínaný kondenzátor sa pripája externe na vývody konvertoru a jeho odporúčaná kapacita je podľa výrobcu $10 \mu\text{F}$. Maximálny prúd, ktorý je obvod schopný dodať do záťaže je $I_{\text{MAX}} = 100 \text{ mA}$. Zapojenie pracuje ako dvojitý napätový zdvojovač napájacieho napätia z USB zbernice U_{BUS} , čo znamená, že vytvára dvojnásobné kladné a záporné napätie so spoločným stredom. Od dvojnásobného výstupného napätia je potrebné podľa vzťahu 3.11 odpočítať straty samotného konvertoru a úbytky napätí na oddeľovacích diódach $U_D = 0,7 \text{ V}$. Pri maximálnom prúdovom zaťažení konvertoru je úbytok napätia podľa technickej dokumentácie [9] $U_L = 1,1 \text{ V}$.

$$U_{\pm} = \pm 2 \times U_{\text{BUS}} \pm (U_L + 2 \times U_D) = \pm 2 \times 5 \pm (1,1 + 2 \times 0,7) = \pm 7,5 \text{ V} \quad (3.11)$$

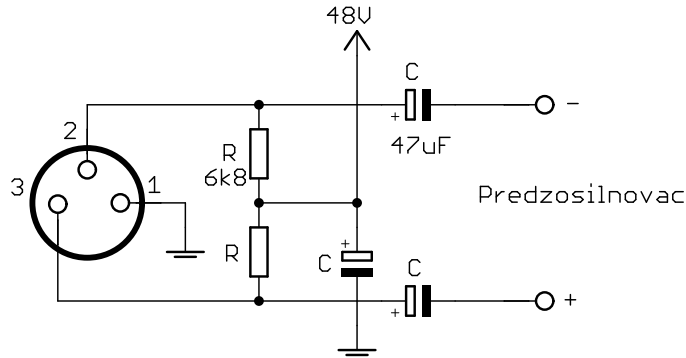
Pri maximálnom zaťažení je teda výstupné napájacie napätie pre obvody zvukovej karty $U_S = \pm 7,5 \text{ V}$. Dôležitou súčasťou návrhu zdroja je celkový prúdový odber všetkých napájaných komponentov zvukovej karty. Vďaka vysokej impedancii analógového vstupu audio kodeku však podľa simulácie v programe Tina-TI súčet prúdových odberov operačných zosilňovačov nepresiahne hranicu 100 mA ani pri maximálnom zosilnení oboch obvodov.

3.4.3 Zdroj fantómového napätia 48V

Kondenzátorové mikrofóny a tiež niektoré aktívne zvukové zariadenia ako DI³ boxy obsahujú aktívne prvky, ktoré je nutné napájať jednosmerným napätím. Samotný princíp premeny akustickej vlny na elektrický zvukový signál kondenzátorových mikrofónov je založený na pohybe elektricky nabitej membrány. Pokiaľ samotné zariadenie nieje vybavené zdrojom, je najčastejšie používané tzv. fantómové napätie $U_F = 48 \text{ V}$ privedené priamo na konektor symetrického vedenia XLR. Zapojením

³Direct Input

zdroja podľa obrázka 3.13 je dosiahnutá neviditeľnosť napätia pre ostatné zdroje signálu, najmä dynamické mikrofóny, ktoré nepotrebujú zdroj napájania. Podľa štandardu [15] je typická hodnota odporov symetrických rezistorov $6,8\text{ k}\Omega$. Filtračné kondenzátory slúžia na blokovanie fantómového napájania od vstupu operačného zosilňovača.



Obr. 3.13: Zapojenie fantómového napájania.

3.4.4 Vysokonapäťový konvertor TPS61170

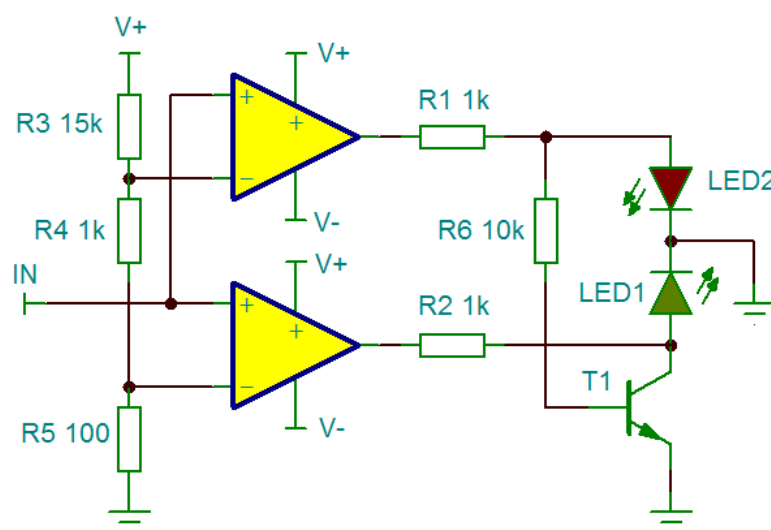
Na vytvorenie vysokého napätia je použitý integrovaný obvod s označením TPS61170. Jedná sa o monolitický vysokonapäťový spínaný konvertor pracujúci na frekvencii $f = 1,2\text{ MHz}$. Princíp činnosti tohto obvodu je podobne ako pri LT1054 založený na spínaní s rozdielom, že TPS61170 pumpuje do záťaže akumulovanú energiu striedavo z induktoru a kondenzátoru. Obvodové zapojenie vychádza z výrobcov odporúčaných zapojení z technickej dokumentácie [16] pre rôzne príklady použitia. Obvod je možné napájať napätím 5 V z USB zbernice vďaka širokému vstupnému rozsahu. Maximálny odoberaný prúd je $I_{\text{MAX}} = 60\text{ mA}$, čo je pre potreby fantómového napájania dostačujúca rezerva. V zapojení je možné regulovať výstupné napätie zmenou odporov rezistorov R_1 a R_2 napäťového deliča na pine FB. Z rady vyrábaných rezistorov E24 bolo najvhodnejšie zvoliť hodnoty odporov $R_1 = 360\text{ k}\Omega$ a $R_2 = 10\text{ k}\Omega$, pri ktorých je na výstupe dosiahnuté napätie $U_F = 45,5\text{ V}$ podľa vzťahu 3.12 z technickej dokumentácie. Vnútorne referenčné napätie konvertoru je $U_{\text{REF}} = 1,23\text{ V}$.

$$U_F = U_{\text{REF}} \times \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 1,23 \times \frac{360 + 10}{10} = 45,5\text{ V} \quad (3.12)$$

Kvôli obmedzenému výberu hodnôt rezistorov vyrábanou radou je zvolené napätie nižšie aby nedošlo k poškodeniu napájaných mikrofónových predzosilňovačov. Tolerancia odchýlky je podľa štandardu [15] $\pm 4\text{ V}$. Napájanie je možné zapnúť alebo vypnúť pomocou prepínača umiestneného na prednom paneli zvukovej karty.

3.5 Obvod indikácie signálu

Zosilnením signálu na príliš vysokú úroveň môže dôjsť k jeho limitácii na analógovom vstupe audio kodeku. Pre varovanie užívateľa je zvuková karta doplnená o obvody indikácie prítomnosti a prebudenia signálu. Na vstupe indikačného obvodu je odstránená jednosmerná zložka signálu pomocou hornopriepustného filtra a následne zaradený usmerňovač preklápa záporné časti signálu. Vďaka tomu tieto obvody reagujú na kladné a záporné špičky signálu. Následne je usmerný signál vyhladený kondenzátorom a privedený na vstup dvojitého komparátora zobrazeného na obrázku 3.14 zo simulačného programu TINA-TI. Zmenou kapacity vyhladzovacieho kondenzátora je možné ovplyvniť časovú konštantu poklesu napätia na vstupe komparátora a tým predĺžiť čas indikácie. Pri návrhu referenčných napätí komparátora bolo potrebné brať do úvahy úbytky napätí vzniknuté na usmerňovacích diódach. Komparátor porovnáva špičkovú hodnotu signálu s referenčnými napätiami $U_{PEAK} = 500\text{ mV}$ a $U_{SIG} = 50\text{ mV}$. Prítomnosť signálu je teda indikovaná od úrovne 20 dB pod úrovňou limitácie. Po dosiahnutí týchto úrovní sa rozsvieti dvojité LED dióda umiestnená na predný panel zvukovej karty červenou alebo zelenou farbou. Tranzistor T_1 slúžiaci ako negačný článok zabezpečuje, že dióda svieti vždy len jednou farbou.

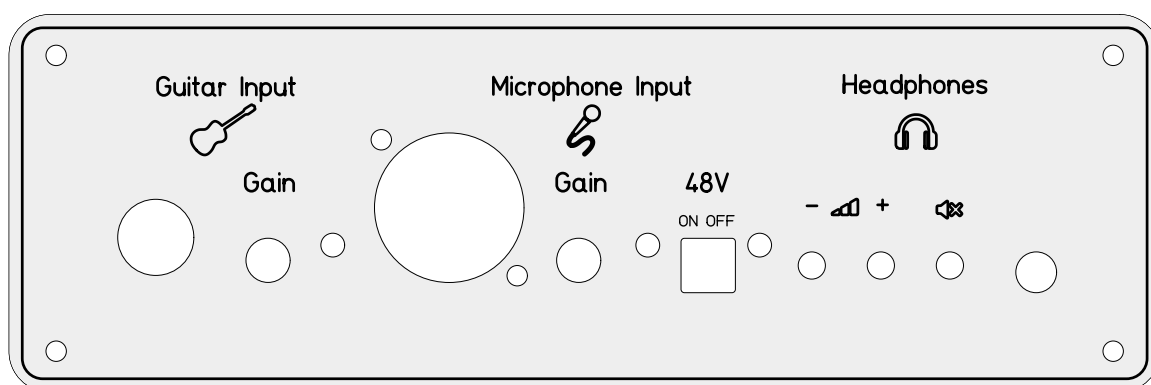


Obr. 3.14: Zapojenie komparátora pre indikáciu úrovni signálu.

Po oživení zvukovej karty bolo potrebné podľa osciloskopu nastaviť presné posunutie úrovni komparátora pomocou odporových trimrov R_{32} a R_{35} (rezistor R_3 v schéme zapojenia v simulačnom programe 3.14) pre oba kanály aby rozsvietenie červenej LED diódy presne odpovedalo hranici limitácie signálu.

3.6 Návrh dosky plošných spojov

Všetky vyššie popísané blokové časti zvukovej karty sú v rámci práce spojené na navrhutej doske plošných spojov. Na DPS je navyše pridaný obvod slúchadlového zosilňovača, ktorý vychádza zo zapojenia na vývojovom module s PCM2900 [17] od výrobcu kodeku Texas Instruments. Na prednom paneli na obrázku 3.15 sú umiestnené zásuvky pre konektory XLR a JACK 6,3 mm. Zosilnenie možno nastaviť pomocou dvoch potenciometrov a na úroveň signálu a prítomnosť napájacieho napätia upozorňujú LED diódy. Na prednom paneli je tiež prepínač fantómového napájania, zásuvka konektoru JACK 3,5 mm pre slúchadlový výstup a tri tlačidlá, pomocou ktorých je ovládaná zmena hlasitosti prehrávaného zvuku. Dvoma tlačidlami je možné meniť hlasitosť smerom nahor alebo smerom nadol. Tretie tlačidlo slúži na úplné vypnutie. DPS je navrhnutá v programe EAGLE 7.7.0. Keďže väčšina súčiastok v návrhu sú s púzdom pre povrchovú montáž SMD, najvhodnejšie bolo navrhnuť dvojstrannú DPS s prekovenými otvormi. Štandard USB [2] využíva pre vysokorýchlostný prenos dát kvôli odolnosti proti rušeniu vedenie vo forme diferenciálneho páru s definovanou impedanciou 90 k Ω . Program EAGLE umožňuje viesť cesty oboch signálov naraz so zadanými rozmermi a vzájomnou vzdialenosťou, vďaka čomu je dodržaná impedancia páru. Kvôli zamedzeniu rušenia je v okolí dátových a signálových ciest odstránená uzemnená plocha. Pre zlepšenie šumových vlastností zvukovej karty sú na DPS rozdelené jednotlivé zemné plochy na nízkoúrovňovú signálovú zem, analógovú napájaciu zem a digitálnu zem. Tieto plochy sú spojené na celej DPS len v jednom bode, vďaka čomu nevzniknú úbytky napätí na nenulovej impedancii zemných vodičov na vstupoch operačných zosilňovačov. Miesto spojenia je blízko zdroja napájania z USB konektoru.



Obr. 3.15: Nákres predného panelu zvukovej karty

4 MERANIE PARAMETROV KARTY

4.1 Príprava merania

4.1.1 Pripojenie zvukovej karty k PC

Po pripojení karty k osobnému počítaču sa v operačnom systéme Windows automaticky zobrazí nové dvojkanálové zariadenie pre zvukový vstup a výstup s názvom „USB AUDIO CODEC“. V nastaveniach zariadenia možno zvoliť maximálnu kvalitu prevodu so vzorkovacou frekvenciou a bitovou hĺbkou 48 kHz/16 bit. Karta spolupracuje s ovládačom ASIO¹, v ktorom je možné spravovať vstupné a výstupné kanály. Tlačidlami je možné priamo meniť celkovú hlasitosť mixéru operačného systému.

4.1.2 Zvukový ovládač ASIO

Výrobcovia zvukových zariadení častokrát ponúkajú vlastný zvukový ovládač pre zvukovú kartu s rozhraním pre nastavenie parametrov spracovania signálu. Ovládač ASIO špecifikovaný spoločnosťou Steinberg je určený pre viaceré zariadenia a umožňuje pristupovať priamo k externému zvukovému zariadeniu. Je určený pre spracovanie ľubovoľného počtu vstupných a výstupných kanálov v reálnom čase s nízkym dopravným oneskorením. Umožňuje navyše zistiť presnú hodnotu oneskorenia na vstupe a výstupe [18].

4.1.3 Analyzátor Audio Precision

Merania parametrov zvukovej karty boli prevedené pomocou analyzátoru APx500 s dvoma výstupnými a dvoma vstupnými kanálmi. Oba vstupné a výstupné kanály je možné nastaviť rovnako ako symetrické alebo nesymetrické. Zvuková karta má však rozdielne vstupy, preto nie je možné budiť signálom oba vstupy naraz. Tým je znemožnené meranie medzikanálových fázových rozdielov. Pri testovaní vstupov karty sú výstupom digitálne dáta z ovládača ASIO. Zapnutím priameho prepojenia vstupu na výstup je možné zmerať parametre celej signálovej cesty karty.

4.1.4 Štandard merania

Následné merania na zvukovej karte boli prevedené za podmienok odporúčaných štandardom AES17[19] od spoločnosti Audio Engineering Society. Výsledné parametre sú porovnávané s odporúčanými hodnotami pre zvukové zariadenia štandardom IASA[20].

¹Audio stream input/output - zvukový prenos vstup/výstup

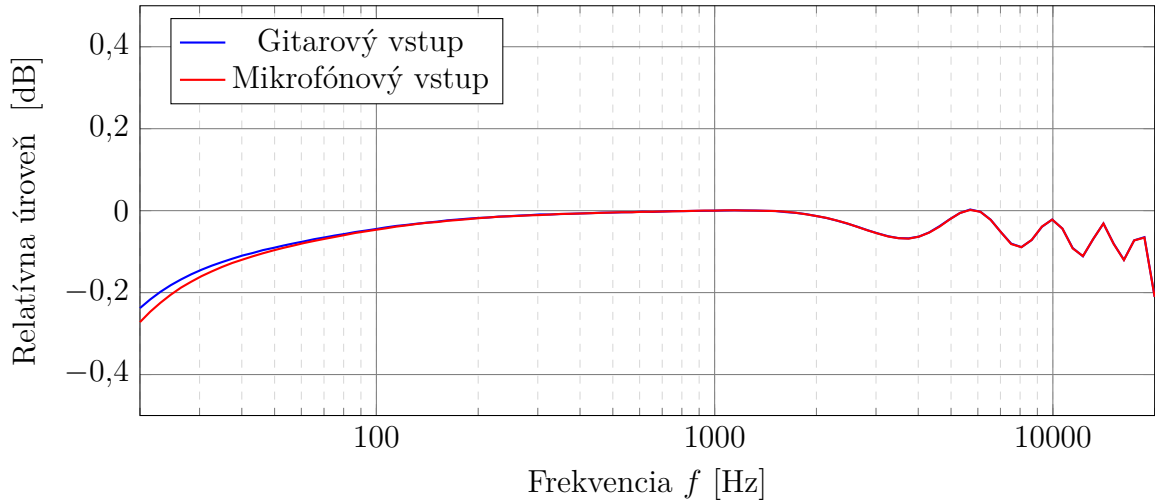
4.2 Parametre prenosu zvuku

4.2.1 Váhové funkcie

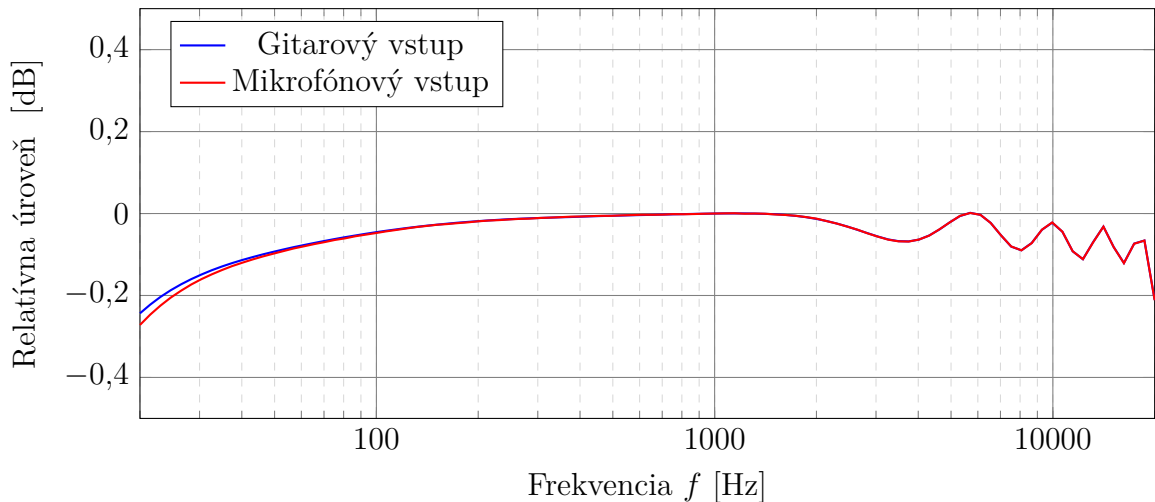
Ludský sluch zachytáva akustické signály v pásme počuteľnosti, no nevníma ich s rovnakou hlasitosťou v celom tomto pásme. Preto sa pri mnohých meraniach využívajú váhové funkcie pre kompenzáciu menšej citlivosti sluchu na nízkych a vysokých frekvenciách. Najčastejšie používanou funkciou podľa štandardu [21] je váhová funkcia typu A, ktorá odráža vlastnosti sluchu s najväčšou citlivosťou medzi frekvenciami od 1 kHz do 6 kHz. V prípade, že bola pri meraní použitá váhová funkcia, jednotka musí byť označená podľa typu funkcie napr. dB(A).

4.2.2 Frekvenčná odozva

Pomocou tohto merania je možné zistiť v akom frekvenčnom rozsahu má zariadenie konštantný prenos so špecifikovanou tolerančnou odchýlkou. Typický rozsah ľudského sluchu je od 20 Hz do 20 kHz, preto zvuk spracovaný zariadeniami s vyrovnanou odozvou v tomto rozsahu znie prirodzene a vierohodne. Tolerančný rozsah zvlnenia charakteristiky podľa štandardu IASA je pre zvukové zariadenie so vzorkovacou frekvenciou 48 kHz špecifikovaný ako $\pm 0,1$ dB vo vzťahu k referenčnej úrovni. Znížením tolerančnej odchýlky sa teda znižuje zvlnenie frekvenčnej charakteristiky. Odporúčaná úroveň vstupného signálu podľa štandardu je -20 dB pod maximálnym rozsahom zariadenia a priebeh odozvy je možné vzťahovať k referenčnej úrovni signálu s frekvenciou 997 Hz. Mnohé zvukové zariadenia pracujúce na vysokých vzorkovacích frekvenciách dosahujú vyrovnanú frekvenčnú odozvu nad pásmom počuteľnosti. Pokrytím širšieho pásma je dosiahnutý detailnejší a čistejší prenos najmä rýchlych tranzientov zvukových signálov. Na obrázkoch je zobrazená frekvenčná odozva oboch kanálov zvukovej karty pri minimálnom 4.1 a maximálnom 4.2 zosilnení predzosilňovačov.

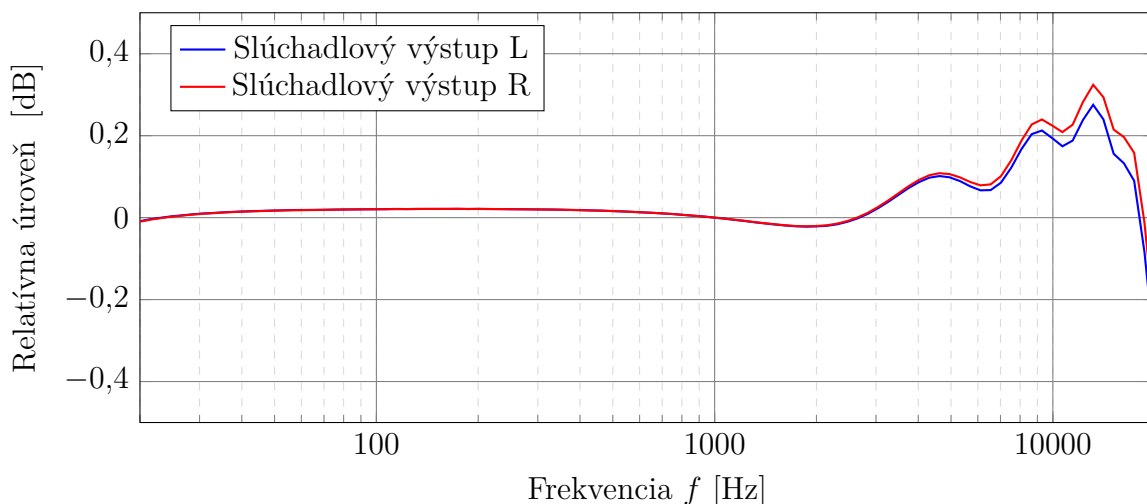


Obr. 4.1: Frekvenčná odozva vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS pri minimálnom zosilnení predzosilňovačov.

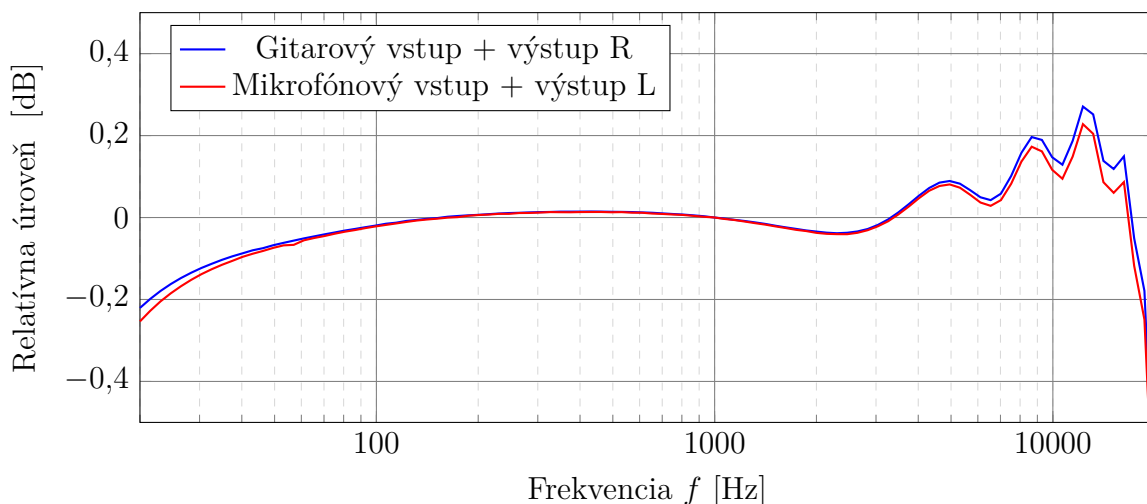


Obr. 4.2: Frekvenčná odozva vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS pri maximálnom zosilnení predzosilňovačov.

Priebehy charakteristík sa zvýšením zosilnenia príliš nezmenili, čomu odpovedajú rovnaké zvlnenia gitarového vstupu $\pm 0,12$ dB a $\pm 0,14$ dB mikrofónového vstupu vo frekvenčnom pásme od 20 Hz do 20 kHz. Pri meraní slúchadlového výstupu zobrazeného na obrázku 4.3 mal testovací signál úroveň -20 dBFS. Zvlnenie charakteristiky ľavého $\pm 0,3$ dB a $\pm 0,29$ dB pravého kanálu je výrazne väčšie ako v prípade vstupných obvodov, najmä na vysokých frekvenciách. Celková frekvenčná závislosť prenosu zo vstupu zvukovej karty na výstup je zobrazená na obrázku 4.4 a dosahuje zvlnenie $\pm 0,51$ dB pre mikrofónový a $\pm 0,49$ dB pre gitarový vstup.



Obr. 4.3: Frekvenčná odozva slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -20 dBFS.



Obr. 4.4: Frekvenčná odozva zvukovej karty zo vstupu na výstup pri budení signálom s úrovňou -20 dBFS.

4.2.3 Odstup užitočného signálu od šumu

Tento parameter v skratke označovaný ako SNR vyjadruje rozdiel medzi maximálnou úrovňou signálu, ktorú dokáže zariadenie spracovať s definovaným skreslením a úrovňou vlastného šumu v pozadí. Plný rozsah zariadenia sa označuje ako FS a v digitálnej oblasti je reprezentovaný maximálnou číselnou hodnotou aritmetiky. Nežiaduce šumové zložky vnášajú do signálu pasívne i aktívne prvky v signálovej ceste. Maximálna možná hodnota SNR je však určená bitovým rozlíšením A/D prevodníka, v ktorom vzniká kvantizačný šum.

4.2.4 Rozlíšenie prevodníkov

Bitové rozlíšenie A/D prevodníkov kodeku definuje počet diskretných hodnôt, ktoré môže systém priradiť úrovni signálu po prevode do digitálnej podoby. Zvýšením bitového rozlíšenia je dosiahnutá presnejšia rekonštrukcia analógového signálu a zároveň zníženie vzniknutého kvantovacieho šumu. V prípade 16bitového rozlíšenia so znamienkovým bitom možno priemerný odstup harmonického signálu od kvantizačného šumu určiť podľa vzťahu [3]:

$$SNR_{dB} = 6,02 \times n + 1,76 = 6,02 \times 15 + 1,76 = 92 \text{ dB} \quad (4.1)$$

V prípade, že pri kvantovaní nieje využitý celý rozsah prevodníka, odstup signálu od šumu sa zhoršuje.

4.2.5 Dynamický rozsah

Mnohé zvukové zariadenia dosahujú veľmi dobré výsledky SNR meraní vďaka automatickému vypnutiu pri absencii signálu. Preto sa často využíva meranie dynamického rozsahu označované ako DR kedy je úroveň šumu meraná za prítomnosti testovacieho signálu s frekvenciou 997 Hz a úrovňou -60 dBFS. Tento signál je následne odstránený filtrom typu pásmová zádrž. Namerané hodnoty SNR a DR pri rôznych nastaveniach zosilnenia sú zobrazené v tabuľke 4.1. Hodnoty DR vstupných kanálov vychádzajú mierne horšie ako odstupy signálu od šumu.

Tab. 4.1: Tabuľka nameraných SNR a DR vstupných a výstupných kanálov.

Kanál	Zosilnenie	SNR [dB(A)]	DR [dB]
Gitarový vstup	Max.	78,19	77,14
	Min.	77,97	74,66
Mikrofónový vstup	Max.	77,5	74,11
	Min.	78,05	74,2
Slúchadlový výstup L		68,68	89,74
Slúchadlový výstup R		76,95	90,28

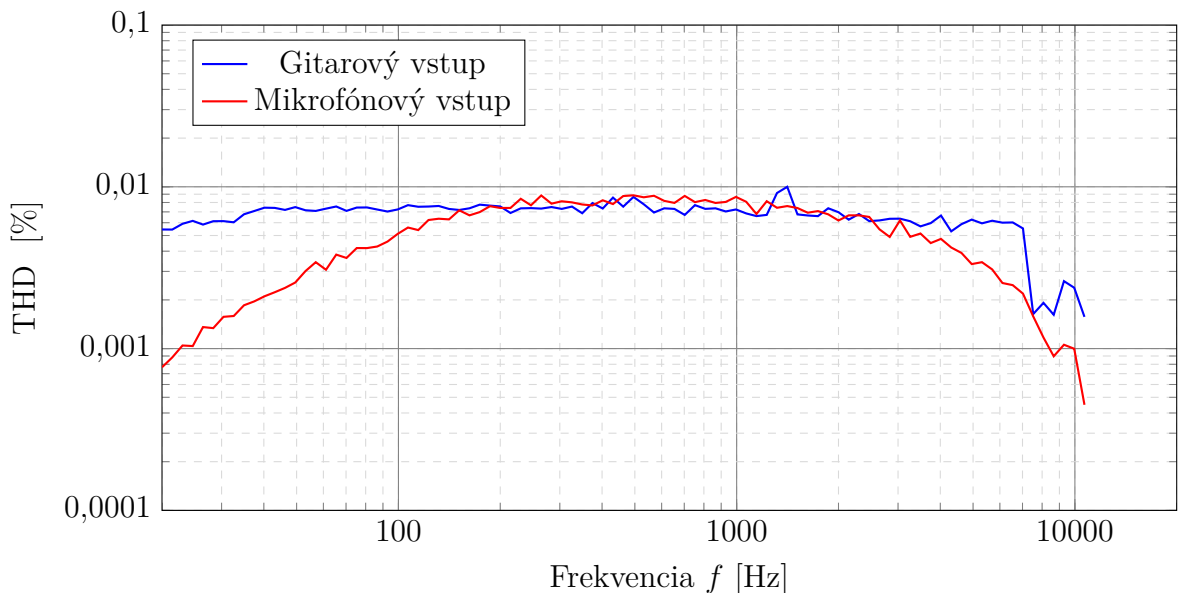
4.2.6 Harmonické skreslenie

Meranie harmonického skreslenia harmonického signálu po spracovaní zvukovým zariadením odráža vplyv daného zariadenia na zmenu tvaru signálu na výstupe. THD teda vyjadruje pomerné zastúpenie vyšších harmonických zložiek k hlavnej harmonickej zložke. Často používaný parameter THD+N vyjadruje harmonické skreslenie s pripočítaným šumom. Podľa odporúčania sa meranie prevádza testovacím sínusovým signálom s frekvenciou 997 Hz a úrovňami -1 dBFS a -20 dBFS. Následná tabuľka 4.2 zobrazuje výsledky meraní úrovne THD a THD+N signálových ciest zvukovej karty použitím váhového filtra typu A. Zmenou vstupných zosilnení predzosilňovačov sa hodnoty výrazne nezmenili.

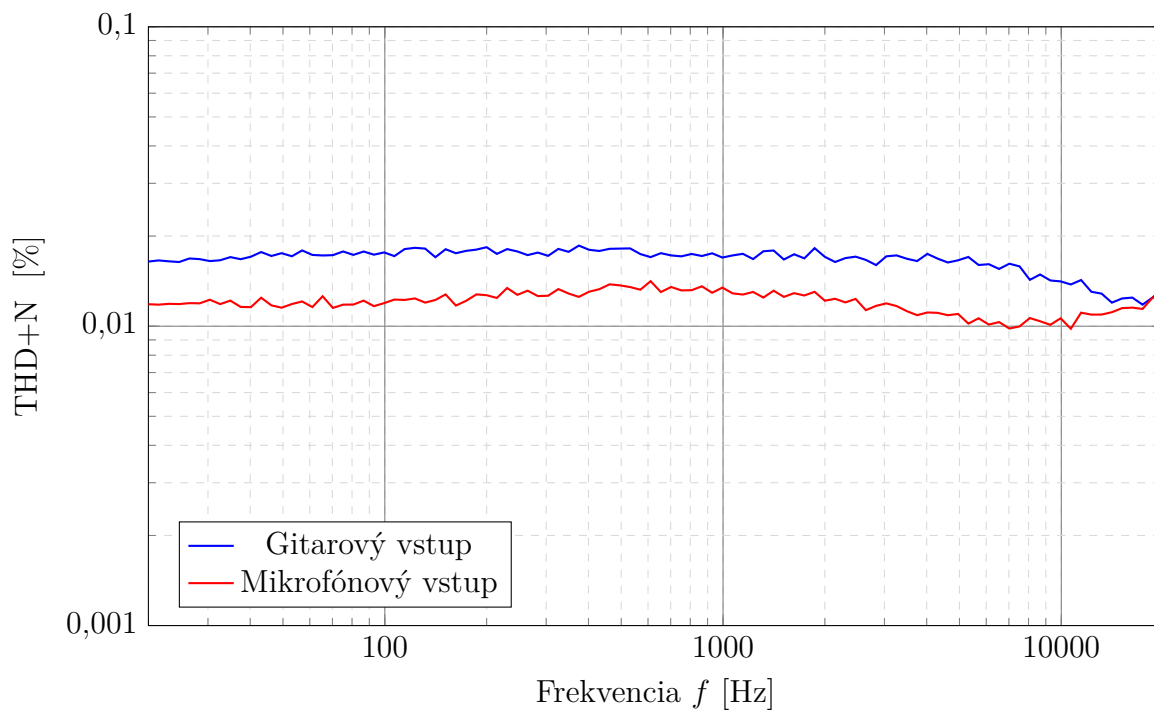
Tab. 4.2: Výsledky meraní THD a THD+N pri rôznych úrovniach signálu.

	Úroveň signálu [dBFS]	THD [%]	THD+N [%]
Gitarový vstup	-1	0,0064	0,0128
	-20	0,0210	0,1205
Mikrofónový vstup	-1	0,0068	0,0132
	-20	0,0224	0,1289

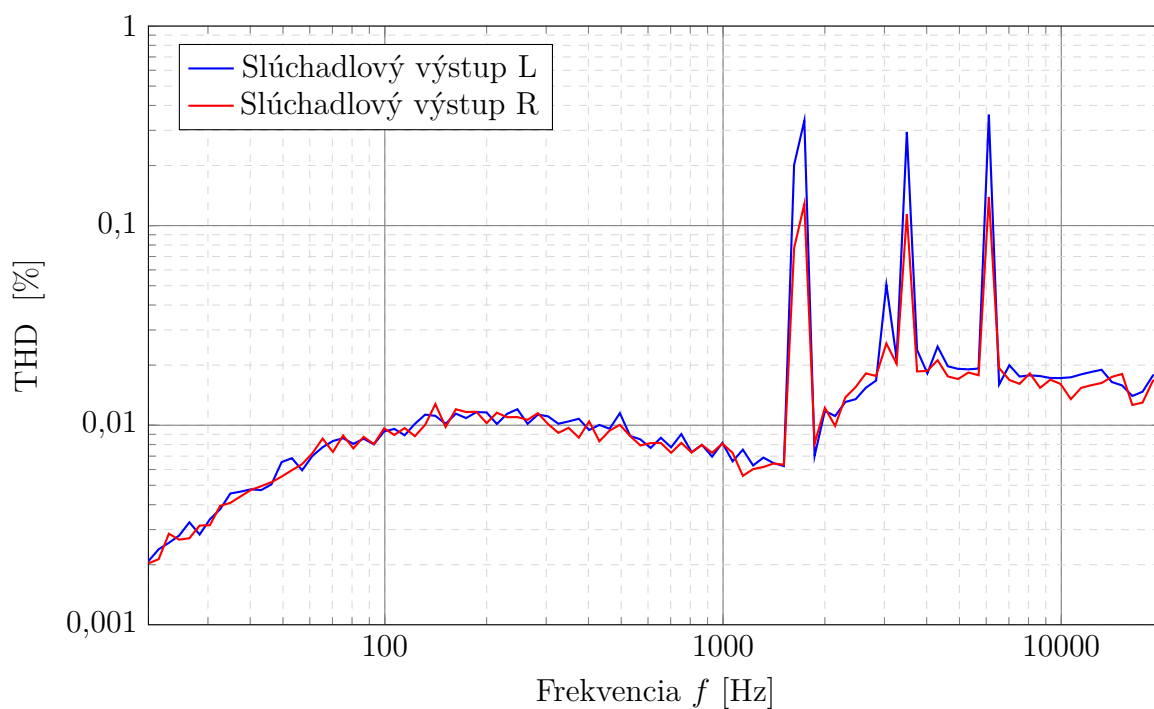
Zmenšením úrovne vstupného signálu sa šum prejavuje viac, čo spôsobuje zhoršenie THD+N. Nasledujúce frekvenčné závislosti THD a THD+N jednotlivých kanálov boli zmerané pri budení signálom -1dBFS a váhované filtrom typu A.



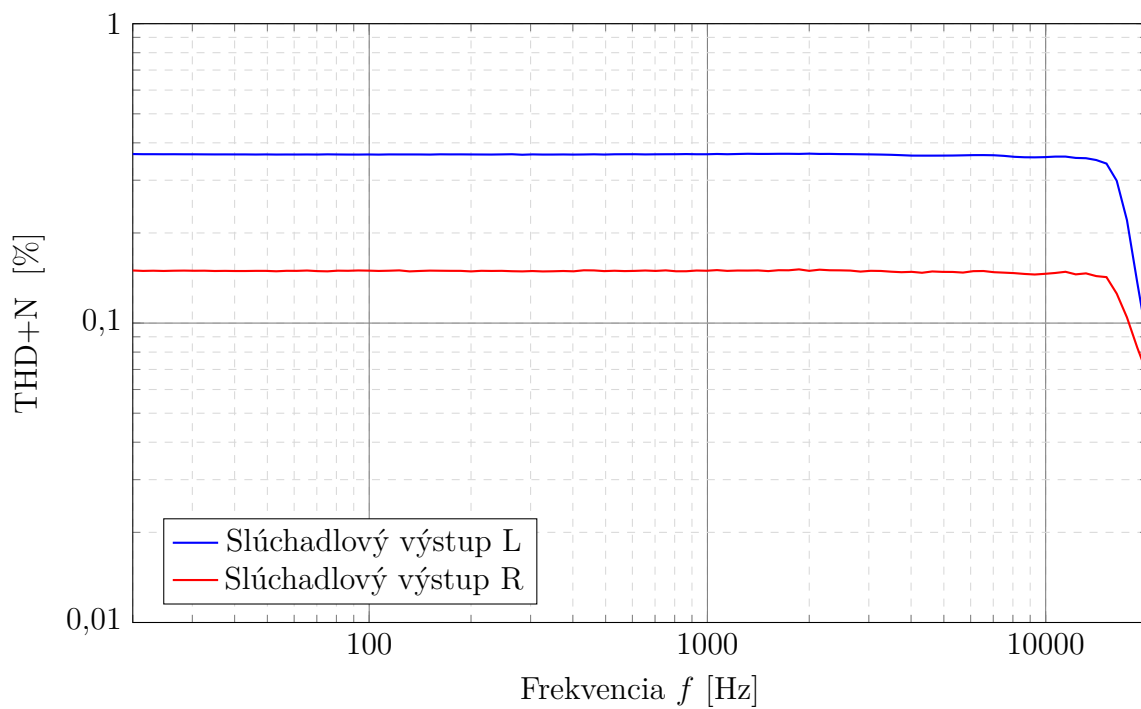
Obr. 4.5: Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD oboch vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -1 dBFS.



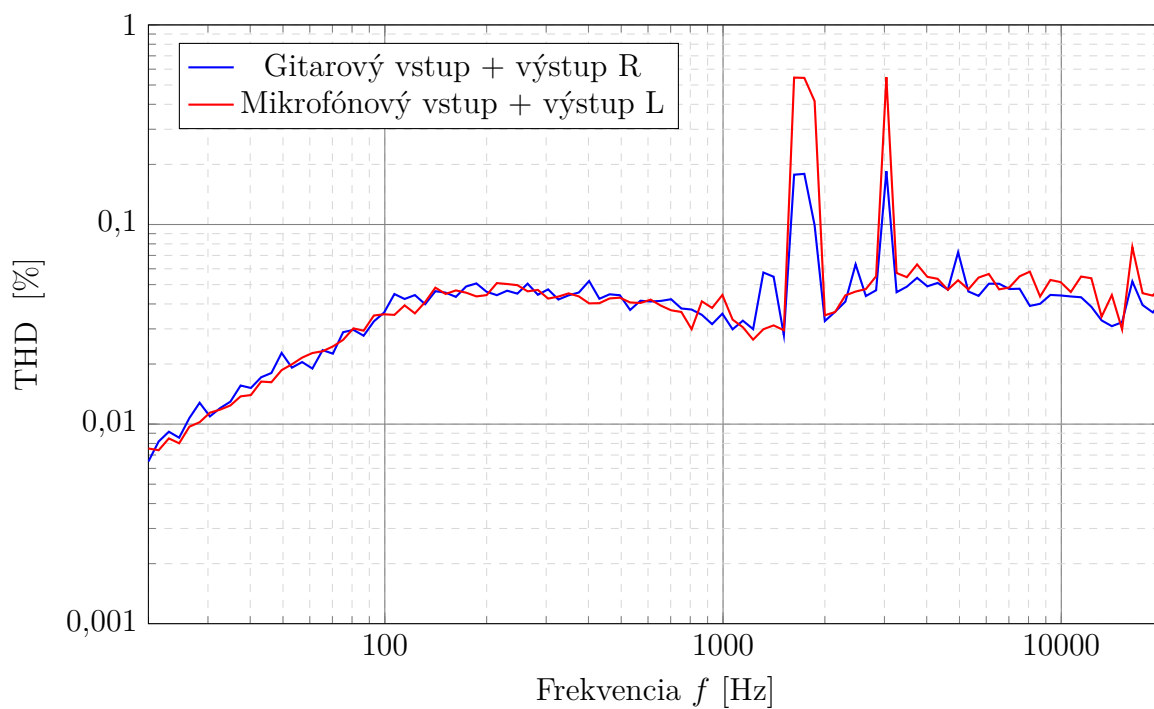
Obr. 4.6: Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N oboch vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -1 dBFS.



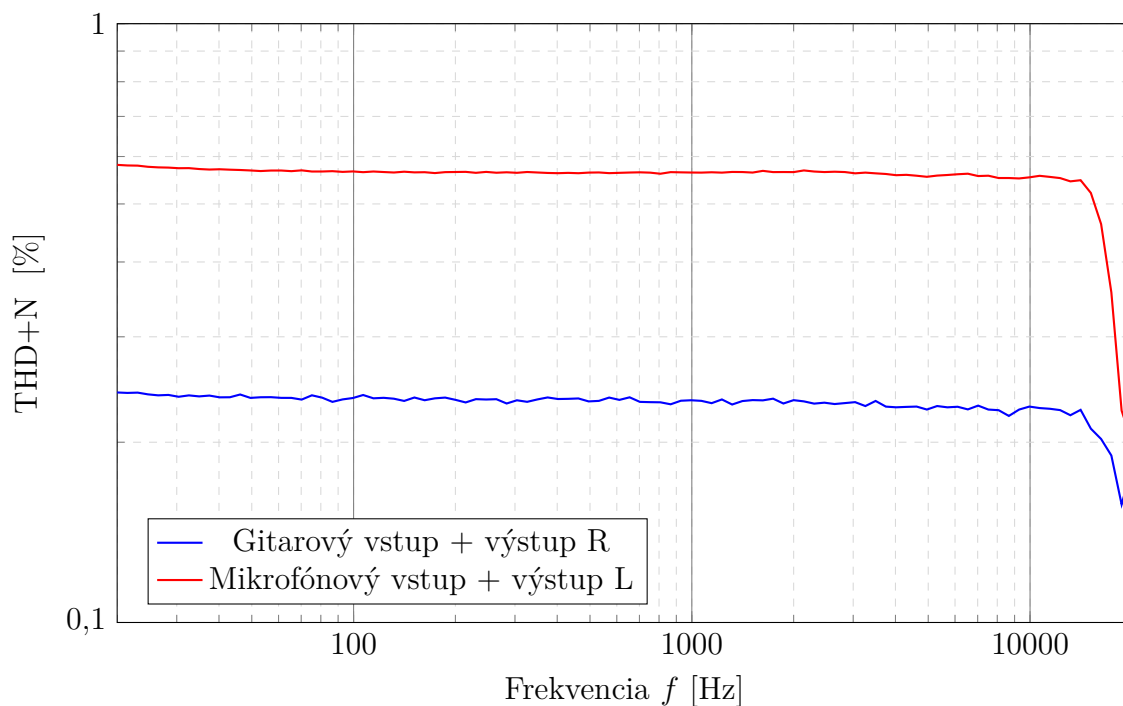
Obr. 4.7: Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.



Obr. 4.8: Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N slúchadlového výstupu pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.



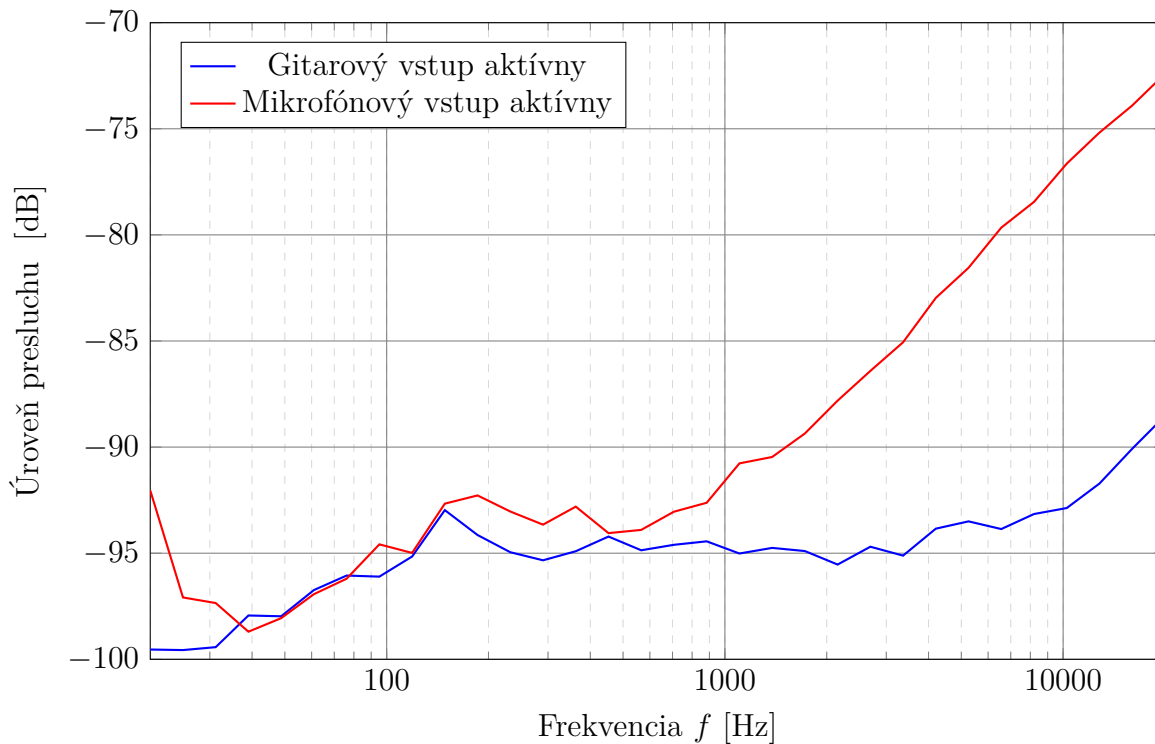
Obr. 4.9: Frekvenčná závislosť harmonického skreslenia THD zvukovej karty zo vstupu na výstup pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.



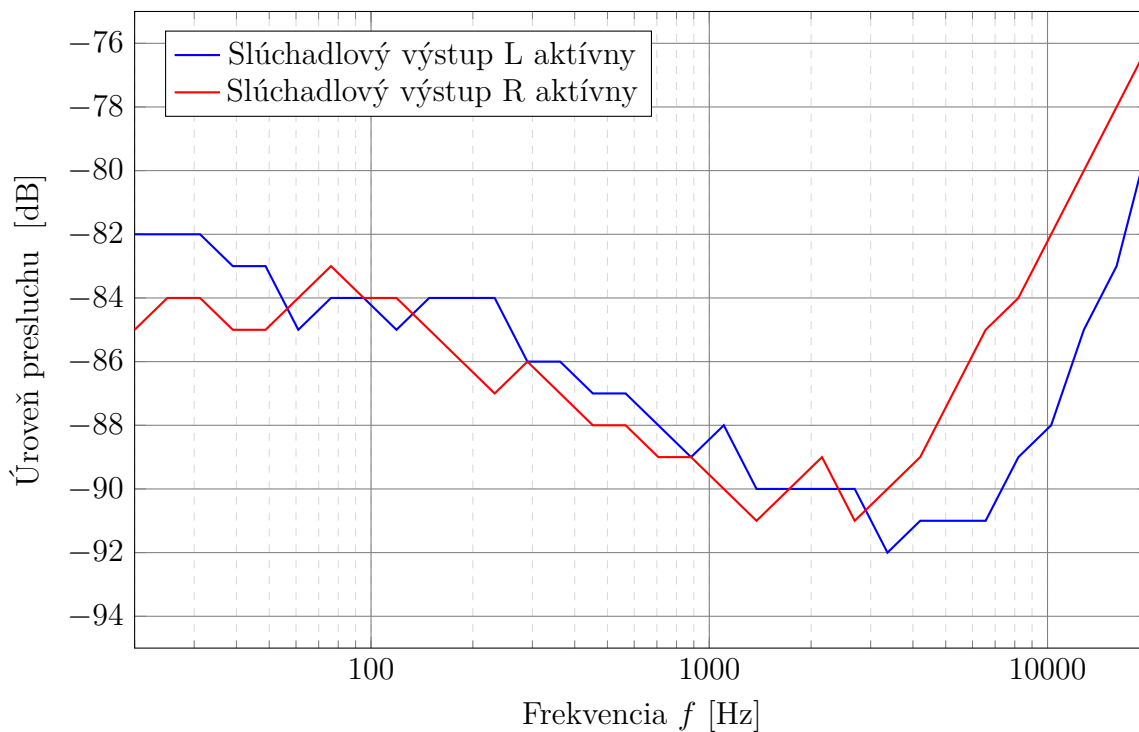
Obr. 4.10: Frekvenčná závislosť skreslenia a šumu THD+N zvukovej karty zo vstupu na výstup pri budení signálom s úrovňou -1 dBFS.

4.2.7 Medzikanálové presluchy

Meranie presluchov má zmysel len na zariadeniach s viacerými kanálmi. Tento parameter udáva mieru ovplyvnenia neaktívneho kanálu druhým aktívnym kanálom vplyvom nežiaducich väzieb medzi signálovými cestami. Podľa odporúčania je úroveň presluchu meraná na jednom z kanálov pri budení druhého kanálu signálom -20 dBFS. Na obrázkoch 4.11 a 4.12 sú zobrazené frekvenčné závislosti presluchov vstupných a výstupných kanálov zvukovej karty, na ktorých je možné sledovať nárast úrovne na vyšších frekvenciách.



Obr. 4.11: Frekvenčná závislosť presluchov vstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS.



Obr. 4.12: Frekvenčná závislosť presluchov výstupných kanálov budených signálom s úrovňou -20 dBFS.

5 ZÁVER

V rámci práce boli preskúmané dostupné alternatívy pre realizáciu USB zvukovej karty. Na základe prevedenej analýzy bol pre prácu vybraný audio kodek s označením PCM2900 od výrobcu Texas Instruments s integrovaným USB rozhraním a nesymetrickým analógovým stereo vstupom. Jednou z výhod tohto kodeku, ktoré rozhodli o výbere bola okrem vhodných parametrov taktiež dostupnosť na trhu.

Navrhnuté obvodomové zapojenia predzosilňovačov sa podarilo úspešne zrealizovať a otestovať ich parametre. Z hľadiska frekvenčnej závislosti prenosu obvodov sa potvrdili výsledky simulácií. Vstupné kanály zvukovej karty dosahujú vyrovnanú odozvu v celom audiodobročnenom pásme so zvlňnením maximálne $\pm 0,15$ dB a v tomto smere tak vyhovujú náročnejším požiadavkám.

Harmonické skreslenie a šumové vlastnosti vstupných kanálov sú limitované najmä možnosťami A/D prevodníka. Samotné harmonické skreslenie THD vstupov dosahuje nízke hodnoty 0,007 %. Problém však predstavuje pomerne vysoký šum oboch vstupných obvodov a výsledné THD+N 0,013 % mierne presahuje hodnotu udávanú výrobcom v technickej dokumentácii kodeku 0,01 %. Prudký nárast skreslenia slúchadlového výstupu na frekvenciách 1,8 kHz, 3,5 kHz a 6 kHz môže byť spôsobený zosilnením harmonických zložiek vplyvom rezonancií obvodu alebo namodulovaním rušivých signálov, ktoré sa pri meraní prejavujú ako vyššie harmonické zložky. Rušenie môže prenikať z obvodu fantómového napájania, ktorý sa nachádza v blízkosti slúchadlového zosilňovača. Signálová cesta ľavého kanálu prechádza v opačnej vrstve DPS priamo pod induktorom čo odráža fakt, že ľavý kanál šumí viac ako pravý.

Horšie šumové vlastnosti karty odrážajú taktiež výsledky meraní odstupú signálu od šumu a dynamického rozsahu a to napriek návrhu DPS s oddelenými zemnými plochami a odrušenými signálovými cestami. Zmerané hodnoty SNR a DR vstupov sú v priemere o 10 dB horšie ako výrobcom udávaná hodnota 89 dB. Zlepšenie vlastností do veľkej miery závisí od konštrukcie a návrhu. Zmenou polohy jednotlivých súčiastok je možné zabrániť nežiadúcim väzbám a prieniku rušivých napätí do užitočného signálu.

Doplňujúce funkcionality karty ako indikácia úrovne signálu, regulácia hlasitosti a fantómové napájanie boli úspešne otestované a fungujú podľa predpokladaných výpočtov a simulácií. Lepšie varovanie užívateľa pred skreslením signálu by bolo možné doceliť predĺžením času svietenia červenej LED diódy. Z hľadiska funkčnosti, rozmerov a prenositeľnosti karta splňa požiadavky pre menej náročné nahrávanie v domácom prostredí a pre hudobníkov na cestách.

LITERATÚRA

- [1] PHILIPS SEMICONDUCTORS. *I2S bus specification* [online]. 1986, Posledná aktualizácia 5. júna 1996, 7s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/I2SBUS.pdf>>.
- [2] *Universal Serial Bus Specification* [online]. 1994, Posledná aktualizácia 27. apríla 2000, 650 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <http://sdphca.ucsd.edu/lab equip_manuals/usb_20.pdf>.
- [3] ZOLZER, Udo. Digital Audio Signal Processing *Delta-sigma Modulation*. Stuttgart: Teubner Verlag, 1995. 63-76 s. ISBN 0-471-97226-6.
- [4] KNAPEN, Geert. *USB Device Class Definition for Audio Devices* [online]. 1998, 130 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <http://www.usb.org/developers/docs/devclass_docs/audio10.pdf>.
- [5] TEXAS INSTRUMENTS. *Stereo audio codec with USB interface PCM2900* [online]. 2011, 33 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm2900c.pdf>>.
- [6] SELF, Douglas. *Small signal audio design*. Oxford: Focal Press, 2010. 556 s. ISBN: 978-0-240-52177-0.
- [7] SLONE, G. Randy. *The Audiophile's Project Sourcebook*. New York: McGraw-Hill, 2002, 361 s. ISBN: 0-07-137-929-0.
- [8] CARTER, Bruce, BROWN, Thomas R. *Handbook of operational amplifier applications* [online]. 2001, 94 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<https://focus.ti.com/lit/an/sboa092a/sboa092a.pdf>>.
- [9] TEXAS INSTRUMENTS. *LT1054 Switched-Capacitor Voltage Converters With Regulators* [online]. 1990, Posledná aktualizácia 2015, 33 s. [cit. 15. mája 2017]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lt1054.pdf>>.
- [10] TEXAS INSTRUMENTS. *Instrumentation amplifier INA163* [online]. 2000, Posledná aktualizácia 2005, 14 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/sbos177d/sbos177d.pdf>>.
- [11] TEXAS INSTRUMENTS. *Operational Amplifier OPA164x* [online]. 2009, posledná aktualizácia 2016, 44 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa1641.pdf>>.

- [12] LINSLEY HOOD, John. *Audio Electronics*. Kent: Elsevier Science, 2013. 351 s. ISBN 9780750621816.
- [13] LAHDEVAARA, Jarmo. *The science of electric guitars and guitar electronics*. Helsinki: Books on Demand, 2012. 615 s. ISBN 978-952-286-420-8.
- [14] TEXAS INSTRUMENTS. *DMOS 500mA Low-Dropout Regulator REG103* [online]. 2000, Posledná aktualizácia 2005, 26 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/reg103.pdf>>.
- [15] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 61938*. 2013. 34.s ISBN 978-2-83220-836-6
- [16] TEXAS INSTRUMENTS. *TPS61170 1.2-A High-Voltage Boost Converter* [online]. 2007, Posledná aktualizácia 2014, 33 s. [cit. 21. mája 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61170.pdf>>.
- [17] TEXAS INSTRUMENTS. *PCM2900C Evaluation module user's guide* [online]. 2011, 16 s. [cit. 29. novembra 2016]. Dostupné na URL: <<http://www.ti.com/lit/ug/sbau195/sbau195.pdf>>.
- [18] STEINBERG. *Steinberg Audio Streaming Input Output Specification* [online]. 1999, 45 s. [cit. 18. apríla 2017]. Dostupné na URL: <<http://comp.ist.utl.pt/ec-ra/Laboratorio/ASIO%20SDK%202.pdf>>.
- [19] AUDIO ENGINEERING SOCIETY. *AES standard method for digital audio engineering — Measurement of digital audio equipment* [online]. 1992, Posledná aktualizácia 28. decembra 2000, 20 s. [cit. 19. apríla 2017]. Dostupné na URL: <https://www.ak.tu-berlin.de/fileadmin/a0135/Unterrichtsmaterial/KT-Labor_WS0809/1_ADDA/aes17.pdf>.
- [20] IASA TECHNICAL COMMITTEE. *Guidelines on the Production and Preservation of Digital Audio Objects* [online]. Kevin Bradley. Druhé vydanie 2009, 156 s. [cit. 6. mája 2017]. Dostupné na URL: <www.iasa-web.org/tc04/audio-preservation>.
- [21] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 61672-2*. 2017. 38 s. ISBN 978-2-8322-4211-7

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

A/D	Analógovo-digitálny
ASIO	Audio stream input/output - zvukový prenos vstup/výstup
A_U	Napätové zosilnenie [dB]
C	Kapacita [F]
D/A	Digitálno-analógový
dB	Decibel - jednotka merania hladiny
DI	Direct input
DPS	Doska plošných spojov
DR	Dynamic range - dynamický rozsah
f	Frekvencia [Hz]
φ	Fáza [°]
FIFO	First in - first out - ukladanie do pamäti spôsobom prvé dnu - prvé von
FS	Full scale - plné rozpätie
HID	Human interface device - zariadenie interagujúce s človekom
HOST	Zariadenie pripojené do siete
I	Elektrický prúd [A]
I ² C	Inter integrated circuit - sériová zbernica
I ² S	Inter IC Sound - sériová zbernica
LSB	Least significant bit - najmenej významný bit
LED	Light emitting diode - dióda emitujúca svetlo
MSB	Most significant bit - najvýznamnejší bit
nf	Nízkofrekvenčná
Ω	Omega - jednotka elektrického odporu
OZ	Operačný zosilňovač

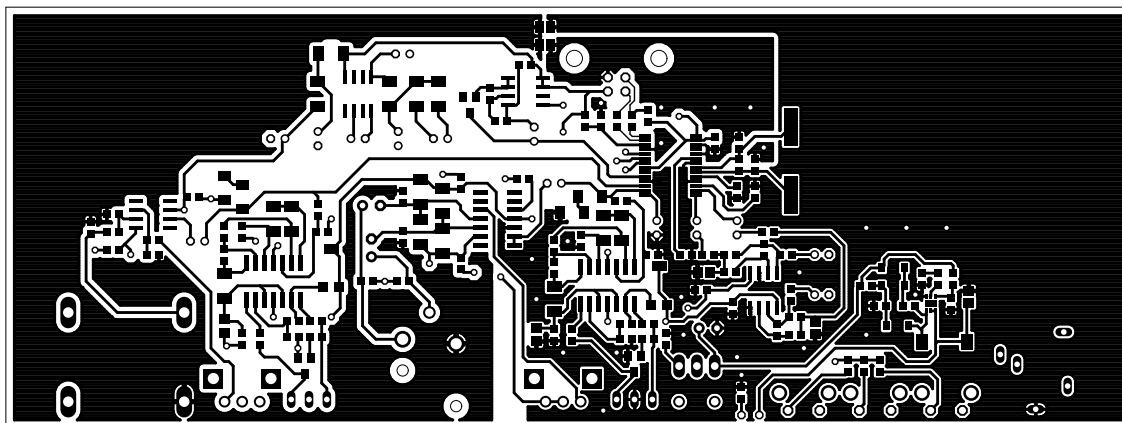
PC	Personal computer - osobný počítač
PLL	Phase locked loop - fázový záves
R	Elektrický odpor [Ω]
RC	Rezistor capacitor
SMD	Surface mount device - zariadenie pre povrchovú montáž
SNR	Signal to noise ratio - odstup signálu od šumu
THD	Total harmonic distortion - harmonické skreslenie
U	Elektrické napätie [V]
USB	Universal serial bus - univerzálna sériová zbernica
XLR	Označenie konektorov symetrického vedenia

ZOZNAM PRÍLOH

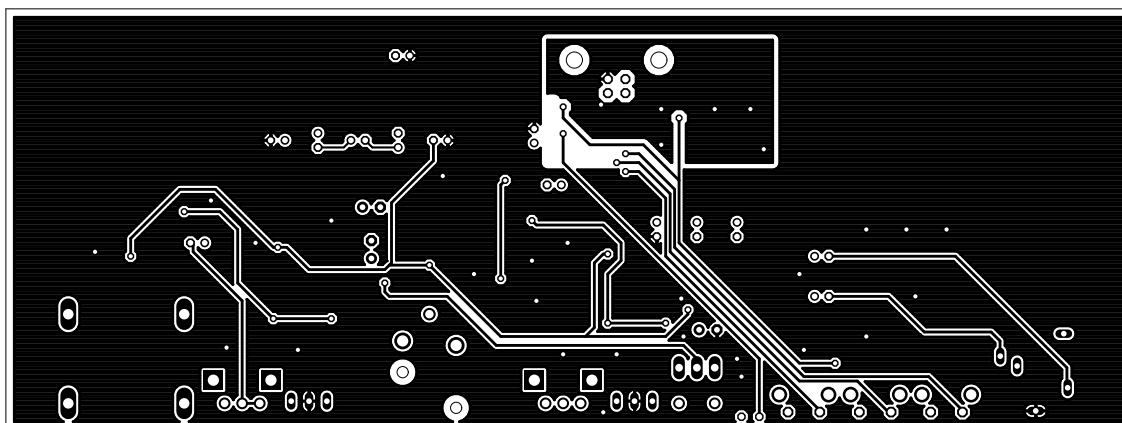
A	Doska plošných spojov	56
A.1	Vrchná strana DPS	56
A.2	Spodná strana DPS	56
B	Rozmiestnenie súčiastok	57
C	Celkové schémy zapojenia	58
C.1	Audio kodek a napájacie obvody	58
C.2	Predzosilňovače	59
C.3	Indikácia a slúchadlový výstup	60
D	Zoznam súčiastok	61
E	Fotografie výrobku	63
F	Zoznam príloh na CD	64

A DOSKA PLOŠNÝCH SPOJOV

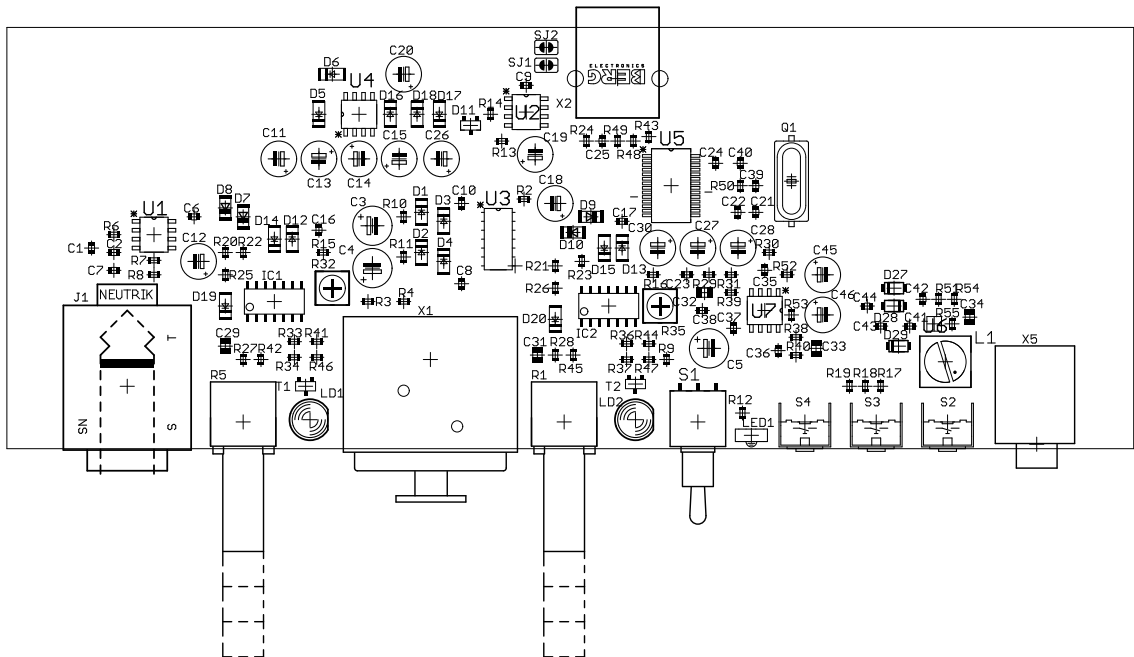
A.1 Vrchná strana DPS



A.2 Spodná strana DPS

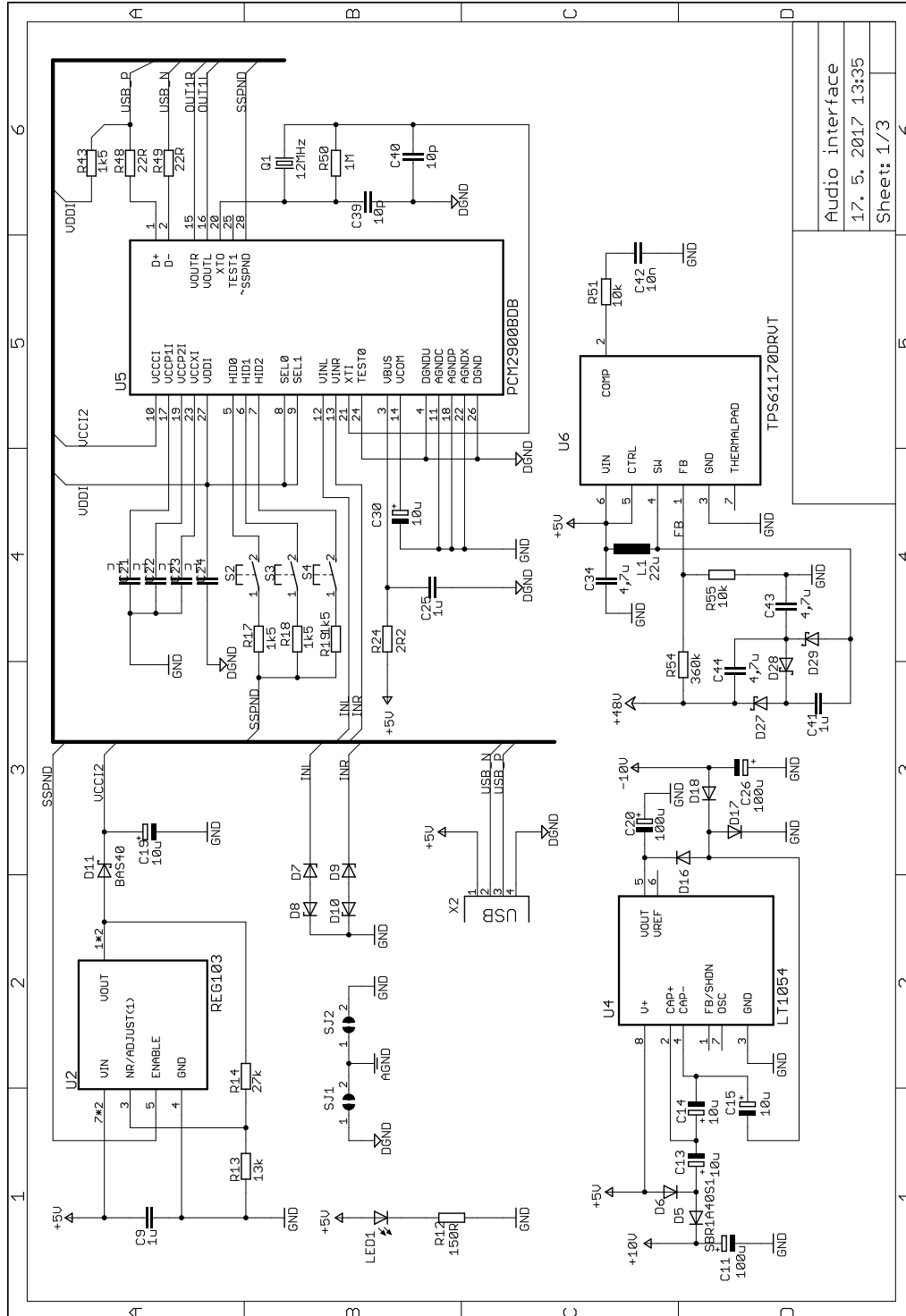


B ROZMIESTNENIE SÚČIASTOK



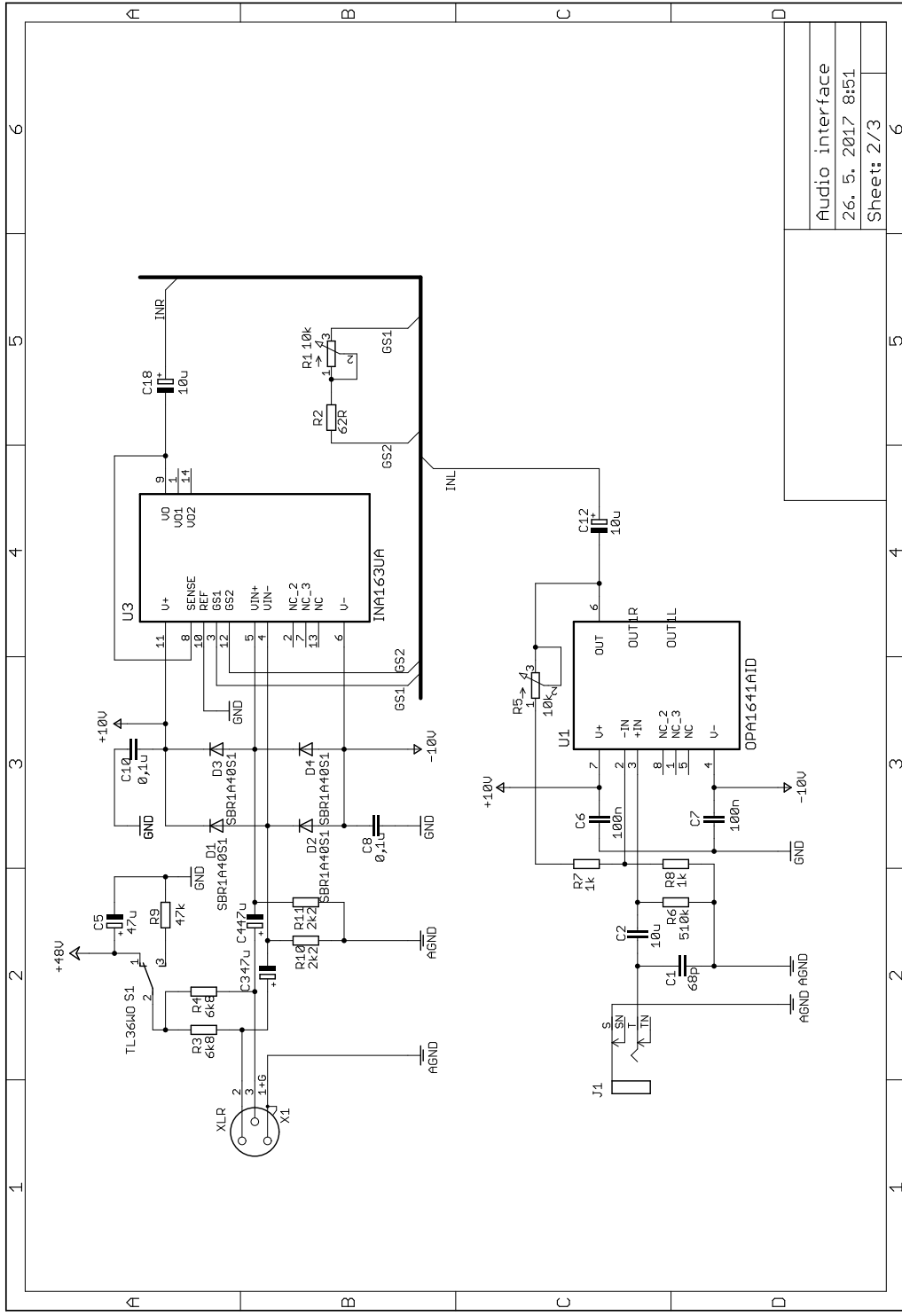
C CELKOVÉ SCHÉMY ZAPOJENIA

C.1 Audio kodek a napájacie obvody



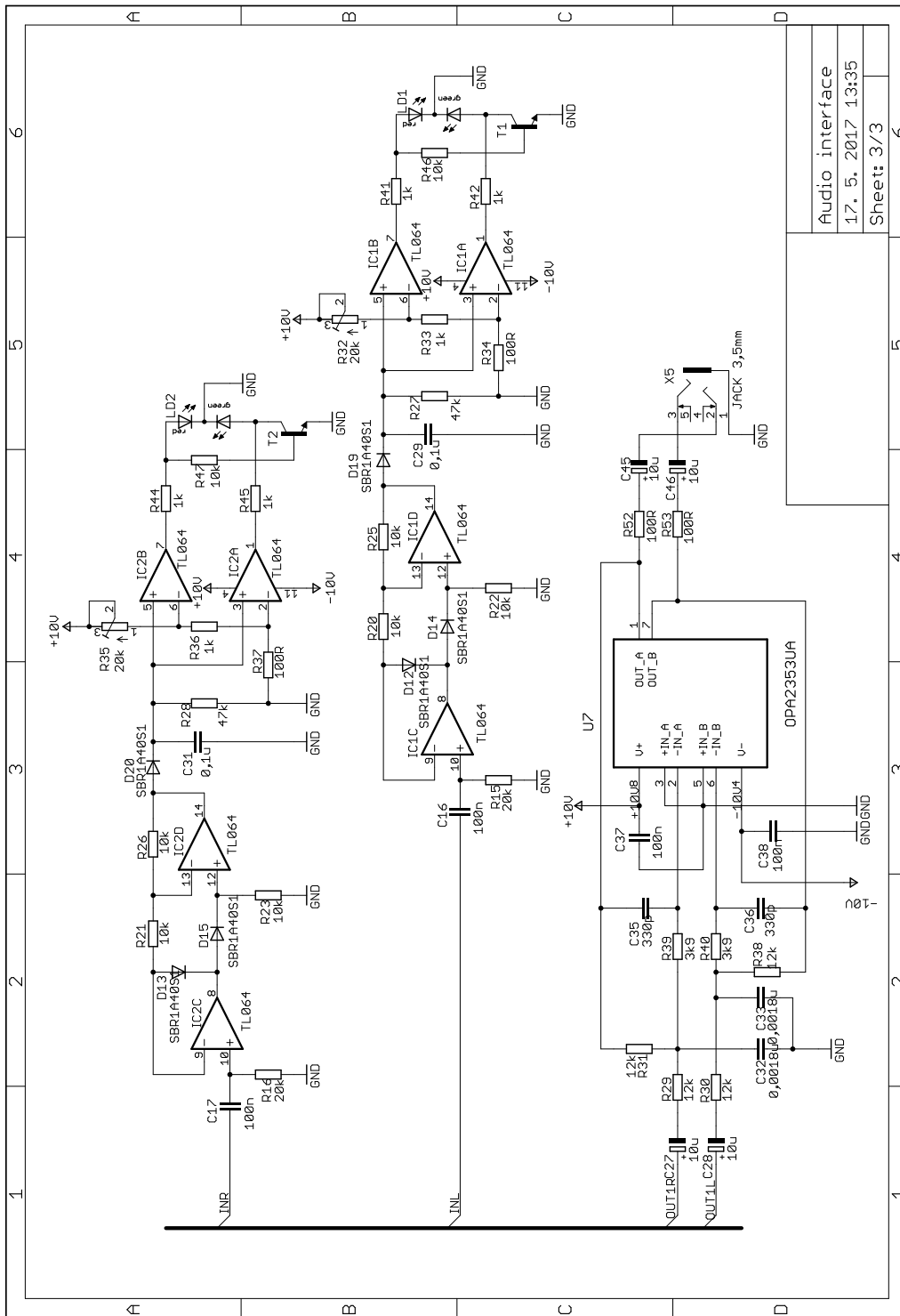
Audio interface
17. 5. 2017 13:35
Sheet: 1/3

C.2 Predzosilňovače



Audio interface	6
26. 5. 2017 8:51	6
Sheet: 2/3	6

C.3 Indikácia a slúchadlový výstup



Audio interface

17. 5. 2017 13:35

Sheet: 3/3

D ZOZNAM SÚČIASTOK

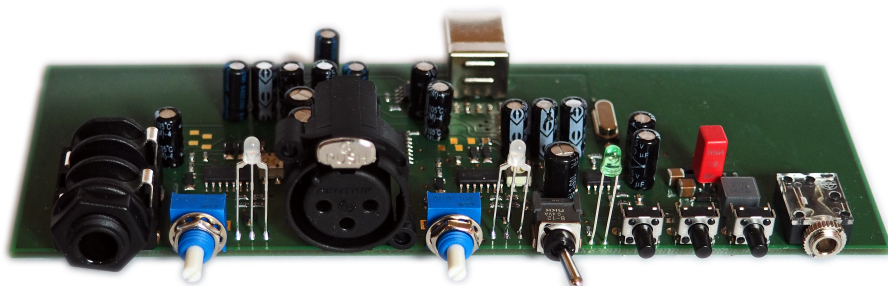
Tab. D.1: Zoznam súčiastok č. 1

Počet	Hodnota	Označenie	Popis
4	100 Ω	R34, R37, R52, R53	Rezistor R0603
10	10 k Ω	R20 - R23, R25, R26, R46, R47, R51, R55	Rezistor R0603
4	12 k Ω	R29, R30, R31, R38	Rezistor R0603
1	13 k Ω	R13	Rezistor R0603
1	150 Ω	R12	Rezistor R0603
1	1 M Ω	R50	Rezistor R0603
8	1 k Ω	R7, R8, R33, R36, R41, R42, R44, R45	Rezistor R0603
4	1,5 k Ω	R17, R18, R19, R43	Rezistor R0603
2	20 k Ω	R15, R16	Rezistor R0603
2	22 Ω	R48, R49	Rezistor R0603
1	27 k Ω	R14	Rezistor R0603
1	2,2 Ω	R24	Rezistor R0603
2	2,2 k Ω	R10, R11	Rezistor R0603
1	360 k Ω	R54	Rezistor R0603
2	3,9 k Ω	R39, R40	Rezistor R0603
1	47 k Ω	R9, R27, R28	Rezistor R0603
1	510 k Ω	R6	Rezistor R0603
1	62 Ω	R2	Rezistor R0603
2	6,8 k Ω	R3, R4	Rezistor R0603
2	1,8 nF	C32, C33	Kapacitor C0603
10	100 nF	C6 - C8, C10, C16, C17, C37, C29, C31, C38	Kapacitor C0603
1	10 nF	C42	Kapacitor C0603
2	10 pF	C39, C40	Kapacitor C0603
1	10 uF	C2	Kapacitor C0603
7	1 uF	C9, C21 - C25, C41	Kapacitor C0603
2	330 pF	C35, C36	Kapacitor C0603
2	4,7 uF	C43, C44	Kapacitor C0603
1	4,7 uF	C34	Kapacitor C2012
1	68 pF	C1	Kapacitor C0603

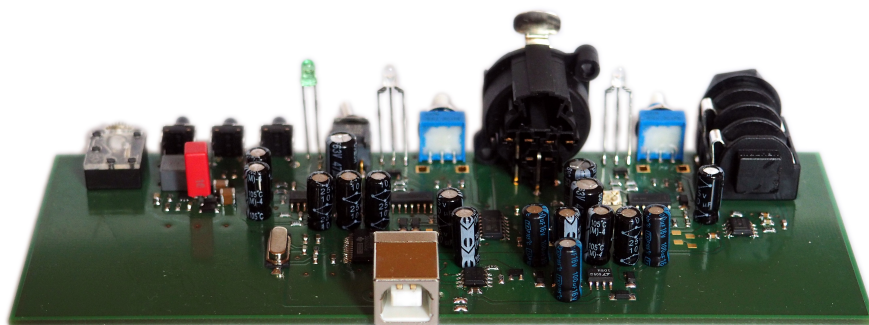
Tab. D.2: Zoznam súčiastok č. 2

Počet	Hodnota	Označenie	Popis
3	100 uF	C11, C20, C26	Elektrolitický kapacitor
11	10 uF	C12 - C15, C18, C19, C27, C28, C30, C45, C46	Elektrolitický kapacitor
3	47 uF	C3, C4, C5	Elektrolitický kapacitor
2	10 kΩ	R1, R5	Rotačný potenciometer
2	20 kΩ	R32, R35	Trimer
1	22 uH	L1	Induktor
1	12 MHz	Q1	Kryštál
2		LD1, LD2	Dvojitá LED dióda
1		LED1	LED dióda
4	BZT52C3V9-7-F	D7, D8, D9, D10	Zenerova dióda
1	BAS40	D11	Schottkyho dióda
15	SBR1A40S1	D1 - D6, D12 - D20	Kremíková dióda
3	B140HW-7	D27 - D29	Kremíková dióda
2	BC 847C	T1, T2	NPN Tranzistor
1	OPA1641	U1	Operačný zosilňovač
1	INA163	U3	Operačný zosilňovač
1	OPA2353	U7	Operačný zosilňovač
2	TL064	IC1, IC2	Operačný zosilňovač
1	PCM2900	U5	Stereo zvukový kodek
1	REG103-A	U2	Napätový regulátor
1	LT1054	U4	Napätový regulátor
1	TPS61170	U6	Napätový konvertor
3		S2 - S4	Mikrotlačítko
1		S1	Prepínač
1		X2	USB konektor
1		X5	Zásuvka JACK 3,5mm
1		J1	Zásuvka JACK 6,3mm
1		X1	Zásuvka XLR
2		SJ1, SJ2	Jumper

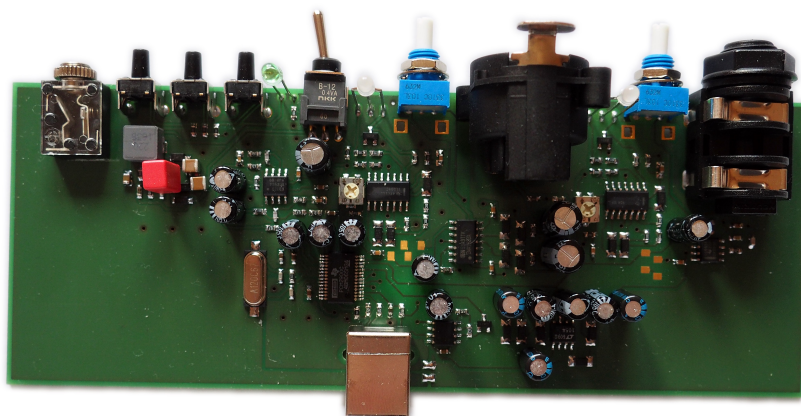
E FOTOGRAFIE VÝROBKU



Obr. E.1: Predný pohľad na ovládacie prvky a konektory.



Obr. E.2: Zadný pohľad na konektor USB.



Obr. E.3: Vrchný pohľad na osadenú DPS.

F ZOZNAM PRÍLOH NA CD

- Text záverečnej práce
- Súbory programu Eagle (schémy zapojenia a DPS)
- Inštalačný súbor ASIO4ALL pre Windows