

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

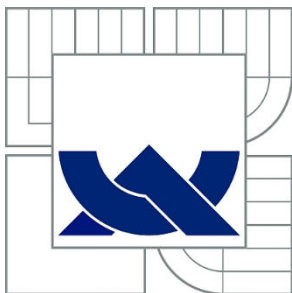
ELEKTRÓNKOVÝ SLÚCHADLOVÝ ZOSILŇOVAČ S USB DAC
VSTUPOM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

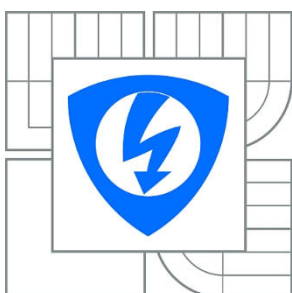
Tomáš Rozkopal

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ELEKTRÓNKOVÝ SLÚCHADLOVÝ ZOSILŇOVAČ S USB DAC VSTUPOM

TUBE HEADPHONE AMPLIFIER WITH USB DAC AS AN INPUT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

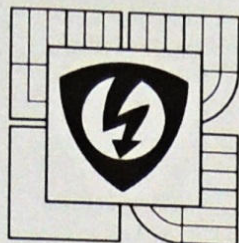
TOMÁŠ ROZKOPAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ VLČEK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Tomáš Rozkopal

Ročník: 3

ID: 134394

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Elektrónkový slúchadlový zosilňovač s USB DAC vstupom

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Naštudujte si problematiku použitia elektróniek ako aktívnych prvkov v nf obvodoch zvukovej techniky. Pojednajte o problematike slúchadlových zosilňovačov, prevodníkov USB DAC, ich prepojenia s operačným systémom počítača a prenose zvukového signálu týmto reťazcom. Vašu voľbu a postupy vo fáze návrhu odôvodnite. V navrhovanom konštrukčnom riešení venujte náležitú pozornosť zamedzeniu presluchovej vzájomným oddelením analógovej, číslicovej a napájacej časti, a kvalitatívnym parametrom nf zosiňovačov, akými sú napríklad odstup signálu od šumu, vzájomný odstup medzi ľavým a pravým kanálom, či šírka frekvenčného pásma.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] VLACH, Jaroslav. Lampárna aneb Co to zkusit s elektronkami?. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-091-1.
- [2] AXELSON, Jan. USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals. Third Edition. Madison: Lakeview Research LLC, 2005. ISBN 1-931448-03-5
- [3] ŘEHÁK, Jan. USB - Universal Serial Bus - Popis rozhraní [online]. 7.5.2002, [cit.2013-09-14]. <<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/usb/usb-universal-serial-bus-popis-rozhrani.html>>

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Vlček

Konzultanti bakalářské práce:

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

Práce se zaměřuje na problematiku přenosu zvuku pomocí sběrnice USB. Je rozebrán princip sběrnice, její fyzikální vlastnosti a popis přenosu informace. Na příkladu audiozařízení je popsáno, jak se chová koncové zařízení. V druhé části práce je vysvětlen nárok na digitálně/analogové převodníky, popsány jejich vlastnosti, jako je například rozlišení, rychlost převodu a odstup rušivých složek signálu od užitečných. Dále jsou rozebrány dva základní převody mezi digitálním a analogovým převodem. V teoretickém závěru, třetí části práce, je rozebírán princip elektronek a vysvětlen princip vakuové diody, triody, tetrody a pentody. Jednotlivé typy elektronek jsou doplněné o současně vyráběné typy se stručným popisem jejich využití v obvodu. Ve čtvrté části práce jsou diskutovány současné trendy používání DA převodníků v elektronice. Jsou srovnány různé, dnes dostupné mikrokontroléry a řešení analogových výstupních obvodů. Návrh pokračuje řešením problému s připojením DA převodníku pomocí sběrnice I²S a je navržen DA převodník s napětovým výstupem. V poslední části návrhu obvodu jsou vysvětleny požadavky na analogový filtr a numericky odvozené hlavní předpoklady koncového zesilovače. Je navržen elektronkový filtr typu dolní propust a řešení koncového zesilovače. Je uveden rozbor požadavků na napájecí zdroj a na obvodovém návrhu popsány jejich vlastnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Převodník DA, elektrony, zesilovač, rozhraní USB, koncový bod.

ABSTRACT

This thesis focuses on transferring of sound through USB bus. There is analysed a principal of the bus, its physical properties and a description of information transmission. Behaviour of the end point is described on an example of an audio device. The second part of the thesis describes demands on digital/analogue converters, their attributes such as resolution, speed of conversion and signal to noise ratio. Furthermore there are described two basic conversions between digital and analogue conversion. The third part of the thesis analyses a principal of tubes and explains a principal of vacuum diode, triode, tetrode and pentode. The individual types of tubes are supplemented by currently produced types and brief descriptions of their use in a circuit. Current trends in use of DAC converter in electronics are discussed in the fourth part of the thesis. Currently available microcontrollers and analogue output circuit solution are compared. The design continues by solving a problem with connecting DAC converter by a bus I²S and DAC converter with voltage output is designed. Analogue filter requirements and numerically derived main assumptions of end amplifier are explained in the last part of the circuit design. A low pass tube filter and power amplifier are designed. Requirements for power supply analysis are stated and their properties are described on the circuit design.

KEYWORDS

DA Convertor, tubes, amplifier, USB bus, end point.

ROZKOPAL,T. Elektronkový slúchadlový zosilňovač s USB DAC vstupom. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2014. 63s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Vlček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Elektronkový slúchadlový zosilňovač s USB DAC vstupom, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Vlčkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	xiii
Seznam tabulek	xiv
Úvod	13
1 Universální sériové rozhraní USB	14
1.1 Základní parametry USB	14
1.2 Elektrické parametry USB	15
1.3 Zařízení USB	16
1.4 Datový přenos	17
1.5 Koncový bod	17
1.6 Standard UAC	18
1.7 Způsoby synchronizace mezi hostitelským a koncovým zařízením	18
2 Převod digitálního signálu na analogový	18
2.1 Vlastnosti převodníků	18
2.1.1 Statické vlastnosti převodníků	18
2.1.2 Dynamické vlastnosti převodníků	19
2.2 Základní kategorie DA převodníků	19
2.2.1 Paralelní převodníky DA	19
2.2.2 Sigma-Delta převodníky DA	20
3 Elektronky	21
3.1 Princip elektronek	21
3.2 Typy elektronek	22
3.2.1 Vakuová dioda	22
3.2.2 Trioda	22
3.2.3 Tetroda	22
3.2.4 Pentoda	23
4 Současné trendy využití DA převodu v hudební elektronice	23
4.1 Vstupní digitální obvody	23
4.2 Analogové obvody	24

5	Návrh Zařízení	25
5.1	USB Mikrokontrolér	27
5.2	Návrh modulu DA převodníku s I ² S vstupem	28
5.2.1	Galvanické oddělení sběrnice I ² S	29
5.2.2	Volba integrovaného DA převodníku.....	29
5.2.3	Napájecí zdroje pro DA převodník.....	30
5.3	Analogová část.....	31
5.3.1	Návrh filtru typu pásmová propust	31
5.3.2	Návrh koncového zesilovače	34
5.3.3	Napájení zařízení	37
6	Závěr	41
	Literatura	43
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	45
	Seznam příloh	46

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Grafické znázornění datového přenosu na rozhraní USB	15
Obr. 1.2 Ukázka datového přenosu mezi hostitelským zařízením a koncovým zařízením	17
Obr. 2.1 Blokové schéma AD sigma-delta modulátoru	20
Obr. 3.1 elektronické schémata jednotlivých typů elektronek.....	23
Obr. 4.1 Schéma diskrétního operačního zesilovače zapojeného jako dolní propust.....	25
Obr. 5.1 Blokové schéma navrženého zařízení.....	26
Obr. 5.2 Fotografie modulu USB/I2S převodníku firmy DIYNHK.....	28
Obr. 5.3 Schéma zapojení modulu převodníku I2S na analogový signál s použitím obvodu WM8740	31
Obr. 5.4 Závislost výstupního napětí filtru na frekvenci	32
Obr. 5.5 Průběh napětí na výstupech převodníku v závislosti na čase	33
Obr. 5.6 Schéma zapojení filtru typu dolní propust.....	34
Obr. 5.7 Schéma zapojení výstupního zesilovače.....	35
Obr. 5.8 Graf závislosti průběhu zkreslení na výstupním výkonu a velikosti impedance zátěže.....	36
Obr. 5.9 Schéma zdroje pro anodové napájení	37
Obr. 5.10 Závislost velikosti anodového napětí na čase	38
Obr. 5.11 Frekvenční závislost filtru R4, C4 a C5	38
Obr. 5.12 Schéma zapojení zdrojů pro žhavení elektronek	39
Obr. 5.13 Závislost napětí na výstupu zdroje na čase.....	39
Obr. 5.14 Schéma napájecích zdrojů pro modul převodníku I2S na analog	40
Obr. 5.15 Schéma zapojení obvodu pro potlačení hluku	41
Obr. 5.16 Závislost napětí na cívkách připojovacích relé na čase	41

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Shrnutí parametrů jednotlivých verzí USB	14
---	----

ÚVOD

V dnešní době je běžným standardem sériové rozhraní USB, jak ve výpočetní technice, tak i ve spotřební a zábavní technice, jako jsou například televize, multimediální centra, Hi-Fi systémy apod. Tato zařízení jsou vybavené vlastním analogovým výstupem, který je obstaráván integrovaným převodníkem uvnitř zařízení, ale zpravidla se jedná o kompromisní řešení, které způsobuje, že tyto výstupy jsou zvukově nekvalitní, či není zajištěna správná činnost zařízení, které je k němu připojeno (například malou impedancí sluchátek dochází k přetížení výstupu nebo vlivem malé výstupní úrovně napětí není dostatečně vybuzen koncový zesilovač).

V této práci je řešen návrh univerzálního převodníku USB na analogový signál, ve kterém je obsažen elektronkový sluchátkový zesilovač, zajišťující funkce zesilovače výkonu a funkci předzesilovače pro koncový zesilovač. Problematika řešení spočívá především v dosažení špičkových parametrů převodu, odstupu rušivých signálů od signálu užitečného a potlačení vlastních přeslechů mezi pravým a levým kanálem. V neposlední řadě se práce zabývá problematikou použití elektronek jako aktivního prvku v zesilovači a filtru, kdy se jedná především o komplikace s výběrem správných typů elektronek, které jsou dnes na trhu k dostání tak, aby bylo možné zařízení jak vyrobit, tak i udržovat.

V kapitole 1 je rozebráno rozhraní USB. Je vysvětlen princip činnosti rozhraní a popsány elektrické vlastnosti rozhraní. V další kapitole jsou uvedeny dva nejčastěji se vyskytující typy převodů z digitálního na analogový signál. Jsou zmíněny jejich vlastnosti včetně limitujících parametrů a vhodnosti využití. V kapitole 3 je popsán princip elektronek, jsou zde uvedeny druhy emisí a jejich využití v jednotlivých typech elektronek. U čtyř základních typů, využívaných v audiotechnice, jsou zmíněny dnes vyráběné elektronky a uvedeny příklady využití v obvodu. Kapitola je využita k nastínění současného trendu využití převodníku. Je zde diskutován výběr mikrokontroléru, převodníku a možná obvodová řešení analogových výstupních obvodů. V 5. kapitole jsou odvozeny parametry filtru dolní propusti a její následná obvodová realizace. Dále je navržen koncový zesilovač, včetně obvodů se zpožděným připojením sluchátek. Je zde také rozebrána problematika napájení zařízení a navržené obvodové realizace zdrojů. V závěru jsou shrnuty dosažené výsledky.

1 UNIVERSÁLNÍ SÉRIOVÉ ROZHRAŇÍ USB

Rozhraní USB vzniklo v roce 1995 za spolupráce společností Compaq, Intel, IBM, Microsoft, NEC a dalších. Podporu získalo už u operačního systému Windows 95 OEM Service Release 2.1 (označovaná jako 4.000.111), poté bylo podporováno všemi operačními systémy. Díky svým parametrům a díky své víceúčelovosti a jednoduchému použití se velice rychle rozšířilo a dnes je již běžně využívanou technologií. [1]

1.1 Základní parametry USB

- Rozsah komunikační rychlosti je od 1,5Mbps až po 480Mbps (U verze 3.0 až 5Gbps)
- Podpora standartu Plug and Play
- Komunikační vzdálenost 5m
- Schopnost adresovat až 127 zařízení
- Zajišťování správného připojení prostředků (IRQ, DMA)

Během let prošlo USB rozhraní několika inovacemi, kdy došlo hlavně k navyšování rychlosti, pro přehled uvádím všechny verze, které doposud byly vyvinuty. Ve své práci budu popisovat princip USB 2.0, které bude použito k realizaci zadaného úkolu. Hlavní změny jsou uvedeny v tabulce 1.1. [2]

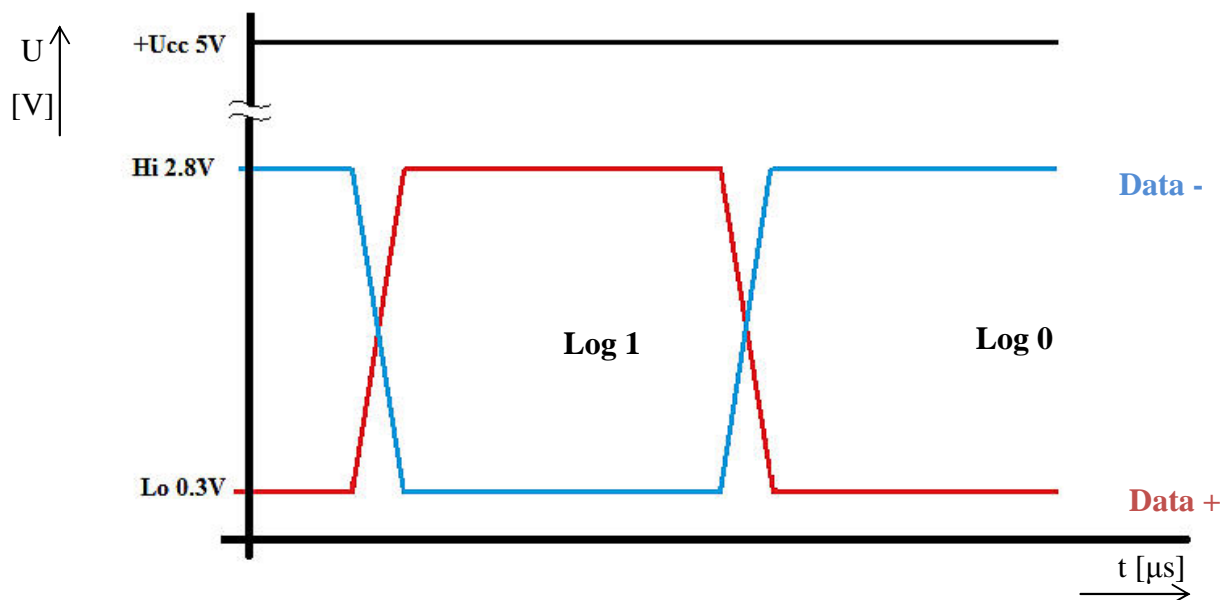
Verze USB	Rok uvedení na trh	Podporovaná rychlost	Počet vodičů
1.0	1995	Low Speed 1,5Mbps	4
1.1		Full Speed 12Mbps	
2.0	2000	High Speed 480Mbps	4
3.0	2008	Super Speed 5Gbps	9 (11)
3.1	2013	Super Speed+ 10Gbps	9 (11)

Tab. 1.1 Shrnutí parametrů jednotlivých verzí USB

1.2 Elektrické parametry USB

Od verze 1.0 až po verzi 2.0 je využíváno čtyřvodičové připojení, kdy jedním vodičem je obstaráno napájení, druhým vodičem je připojována zem (GND) a také někdy slouží jako stínění a dalšími dvěma vodiči je zprostředkován samotný datový přenos. Bude-li datový přenos do rychlosti 1,5Mbps, není zapotřebí, aby datové vodiče byly kroucené. Délka takového spoje může být až 3m. Pro vyšší rychlosti je zapotřebí použít kroucenou dvojlinku, doplněnou o napájecí drát a stínění, které je připojené na zem přístroje GND.

Pro přenos dat je použito diferenční zapojení, kterým je významně potlačeno rušivé napětí a souhlasné složky (například naindukované napětí), tím se stává přenos odolnější proti rušení. Připojované zařízení je napájeno prostřednictvím sběrnice. Napěťová úroveň napájecího napětí je 5V, v reálu se může pohybovat od 4,75V až po 5,25V. Maximální proud, který je schopný USB host dodat je 500mA na port. Z tohoto důvodu může být připojení některých zařízení problém. Například u externích disků s větším odběrem může dojít v důsledku velkého odběru proudu k poklesu či výpadku napětí a zařízení se vypne, či omezí svou činnost. Výstupní proud je u základních desek dimenzován větší, z důvodu využití napájení pro nabíjení mobilních zařízení nebo zařízení, která mají velký proudový odběr. Při extrémně velkých odběrech jsou zařízení napájena zvlášť a napětí na rozhraní je určeno k řízení zapínání, či režimu, ve kterém se má externě napájené zařízení pohybovat (např. Power down). [2]



Obr. 1.1 Grafické znázornění datového přenosu na rozhraní USB

Na obrázku 1.1 lze vidět, jak vypadá datový přenos, reprezentovaný změnou napětí na datových pinech DATA+ a DATA-. Úroveň logická jednička je definována jako stav, kdy vodič Data+ je v napěťové úrovni Hi a vodič Data- je v napěťové úrovni Lo. Úroveň napětí Hi je 2,8V a Lo je 0.3V. Při změně na úroveň logickou 0 se napěťové úrovně vodičů prohodí.

1.3 Zařízení USB

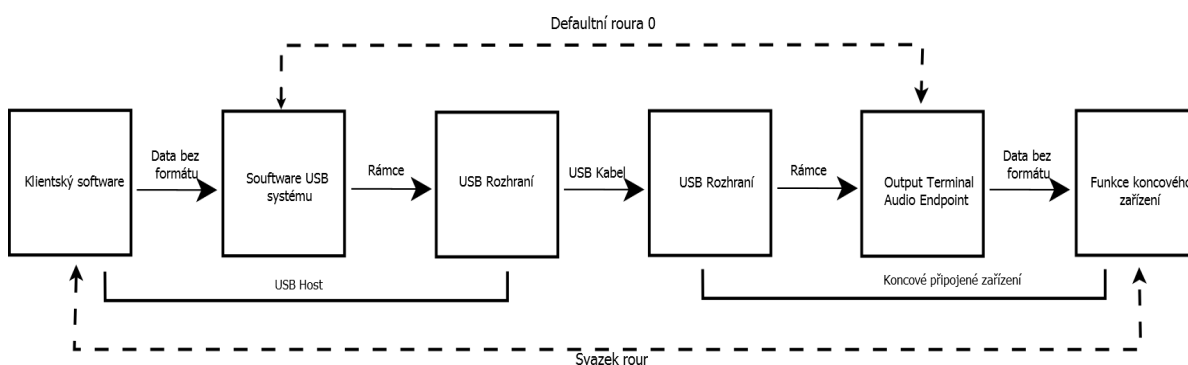
Zařízení propojovaná pomocí sběrnice USB lze klasifikovat do tří kategorií. První kategorií je USB host. Jedná se o zařízení, ke kterému jsou připojována koncová zařízení nebo rozbočovače. Příkladem takového USB hostu může být kořenový rozbočovač USB v počítači, či v multimediálním centru. Další kategorií je USB Hub neboli rozbočovač. Primární funkcí rozbočovače je rozšířit počet možných připojených koncových zařízení. Jednotlivé rozšiřující připojení jsou nazývána porty. Hub je tvořen třemi dílčími částmi. Řadič hubu, zajišťující komunikaci s hostitelským systémem. Opakovač, protokolem ovládaný portový přepínač zajišťující zpracování signálů pro řízení komunikace (pozastavení, spouštění) a samotnou inicializaci. Převaděč transakcí zajišťující mechanismy pro převod mezi využívanými rychlostmi zařízení (full speed, low speed) a nadřazeným systémem využívající rychlost high speed. Poslední kategorií je koncové zařízení, které je schopno přijímat a vysílat data nebo řídicí informace a zajišťuje nějakou požadovanou funkci. Může také obsahovat rozbočovač a plnit tak více funkcí naráz. Koncové zařízení je definováno informacemi popisující jeho činnost a vlastnosti a požadavky na systémové zdroje. Hostitelský systém vždy před použitím koncového zařízení konfiguruje, aby byl použitelný. Příkladem koncového zařízení může být myš, flash disk, zvukové zařízení a další.

Propojování jednotlivých komponentů je tvořeno pomocí hvězdicové topologie. Ke každému hubu lze připojit 8 zařízení a celkově lze mít propojených 7 hubů. Pokud budeme uvažovat, že vždy musí být jedno zařízení host, pak můžeme říct, že lze připojit k jednomu hostu 127 zařízení. Proces připojování a odpojování zařízení se nazývá inventarizace sběrnice. Dochází k němu neustále, protože USB je schopno připojovat a odpojovat zařízení v libovolném okamžiku a je dynamicky se přizpůsobován fyzickému zapojení (plug and play).

Inventarizace spočívá ve vyhodnocování status bitů jednotlivých portů rozbočovačů. Hostitelský systém si může vyžádat informace o status bitech, kde detekuje nově připojená zařízení. V okamžiku kdy je nalezeno nové zařízení, hostitelský systém povolí tento port a vytvoří řídicí rouru (default control pipe, což je komunikační kanál na defaultní adrese 0). Poté je hostitelem přiřazena unikátní adresa a je zjišťováno, zdali je nové zařízení hub nebo koncové zařízení. Je-li to koncové zařízení, pak je vytvořena řídicí roura pro toto zařízení a nasměrovaná na adresu již přiřazenou tomuto koncovému bodu. Následně je volán hostitelský software, odpovídající danému zařízení (ovladač). Jedná-li se o rozbočovač, pak je celá operace opakována pro další jednotlivé porty připojeného rozbočovače. Při odpojení zařízení od USB, je rozbočovačem daný port zakázán a je informován hostitelský systém o změně připojení. Ten pak danou událost softwarově správně ošetří a v případě, kdy odpojené zařízení je rozbočovač, pak hostitel ošetřuje ukončení všech dílčích zařízení, které byly připojeny k rozbočovači. [3]

1.4 Datový přenos

Na obrázku 1.2 lze vidět graficky znázorněný datový přenos. Koncové zařízení připojené k portu hostitelského zařízení je definováno sadou koncových bodů (endpoint sets), jenž definují vlastní rozhraní, které definují funkce koncového zařízení. Na obrázku je již nakreslen princip datového přenosu pro konkrétní audio zařízení. Klientský software, může být tvořen ovladačem, či aplikací systému nebo jejich kombinací. Ten komunikuje s koncovým endpointem, prostřednictvím softwaru USB systému, který data z bufferů rozdělí na rámce, které jsou hostitelským řadičem, jenž je integrován v rozhraní USB, rozděleny na pakety a dále posílány fyzickou komunikací přes kabel do rozhraní USB koncového zařízení. Zde jsou opět převedena na rámce a posílána do logického zařízení, tvořeného sadou endpointů, zajišťující zpracování dat a další komunikací, již podle specifikace koncového rozhraní. [3]



Obr. 1.2 Ukázka datového přenosu mezi hostitelským zařízením a koncovým zařízením

1.5 Koncový bod

Neboli také endpoint, je stanovená identifikovatelná součást logického zařízení. To je tvořeno více, na sobě nezávislých koncových bodů. V každém koncovém zařízení je implementován endpoint 0, určený k prvotní konfiguraci zařízení, například ke stanovení přenosu, inicializaci zařízení nebo zjištění stavu zařízení. Další endpointy jsou číslovány výrobcem v rozsahu 0 až 15 a stanovený daný směr komunikace. To dává jednoznačné určení a úlohu endpointu v USB zařízení. [3]

Každý koncový bod charakterizuje:

- Požadavek na frekvenci a latenci přístupů ke sběrnici
- Požadavek na šířku přenosového pásma
- Pravidla obsluhování chyb
- Typem a směrem přenosu
- Stanovuje velikost paketu, který je schopný zpracovat

1.6 Standard UAC

Z důvodů všestrannosti rozhraní USB, se začalo využívat pro přenos zvuku. V roce 1998 byl představen souhrn pravidel a protokolů pro využití USB pro přenos zvuku pod názvem USB Device Class Definition for Audio Devices, zkráceně UAC. Tento velice důležitý standard definuje a standardizuje endpointy a jejich chování, jejich konfiguraci a ovládání. Definuje také způsoby datového přenosu, parametry pro převod mezi digitálním a analogovým signálem. V průběhu let byl inovován a rozšiřován tak, aby splňoval poslední požadavky na audio zařízení. UAC se stal běžným vybavením operačních systémů. Operační systémy Windows podporují pouze UAC1 a UAC2 podporují jen za použití externích ovladačů (například ASIO). Operační systémy Linux dnes běžně podporují UAC2. [4]

1.7 Způsoby synchronizace mezi hostitelským a koncovým zařízením

Asynchronní isochronní přenos - audio koncové body produkují nebo spotřebovávají data v míře, která jsou dána buď časováním koncového zařízení, nebo volně běžící na vnitřní hodiny koncového zařízení. Tyto koncové body nemohou být synchronizovány pomocí začátku rámce, či jiným taktovacím signálem v doméně USB.

Synchronní isochronní přenos – Taktovací kmitočet lze řídit externě pomocí synchronizace typu „start of frame“.

Adaptivní isochronní přenos – koncové body jsou schopny třídit a zpracovat data v jakémkoliv rozsahu. To znamená, že tyto koncové body musí spustit vnitřní proces, který jim umožňuje, aby odpovídala rychlost dat vnitřních procesů s rychlostí dat, které se objeví na vstupu sběrnice. [4]

2 PŘEVOD DIGITÁLNÍHO SIGNÁLU NA ANALOGOVÝ

S nástupem digitální techniky bylo zapotřebí umět převést analogový signál na digitální za účelem jeho dalšího zpracování a zase převést zpět na analogový. Tento proces zajišťují speciální obvody zvané převodníky, které jsou buď součástí složitějších struktur (mikrokontroléry) nebo samostatnými obvody. Ve své práci se budu zabývat především problematikou převodu z digitálního na analogový signál.

2.1 Vlastnosti převodníků

2.1.1 Statické vlastnosti převodníků

- Rozsah – Jedná se o rozdíl maximální a minimální kvantovanou veličinou. Kvantovanou veličinou může být proud, napětí.

- Rozlišení – Jedná se o schopnost převodníku dosáhnout minimálního kroku ve výstupním napětí. Jedná se o poměr mezi kvantovacím krokem a velikostí výstupního rozsahu veličiny. Závislost výstupního napětí, respektive proudu, na hodnotě vstupního slova se nazývá převodní charakteristika.
- Přesnost – udává maximální získanou chybu mezi ideální a převodní charakteristikou DA převodníku. Také se může udávat jako poměrná velikost odchylky k celkovému rozsahu převodníku.
- Nelinearita – u DA převodníků se vyskytují dva druhy nelinearity. Prvním druhem je Integrovaná nelinearita (INL) a Diferenciální nelinearita (DNL). Integrovaná nelinearita je maximální vertikální rozdíl mezi reálnou a ideální převodní charakteristikou (globální). Diferenciální nelinearita je chyba mezi dvěma po sobě jdoucími kódy (lokální).
- Další chyby DA převodníků – monotónnost, kvantovací chyba, hystereze. [5]

2.1.2 Dynamické vlastnosti převodníků

- Odstup signál od šumu – Také označován jako SNR. Jedná se o rozdíl mezi hodnotou užitečného signálu (při měření používáme jednu harmonickou složku) a dalších složek ve spektru signálů. Další složky mohou být způsobeny zkreslením, nejistotou vzorkování, vlastním šumem součástky a přechodnými jevy v převodu. Speciálním případem je nutnost znát dynamický rozsah bez spektrálních složek, tzv. SFDR, kdy se jedná o poměr mezi amplitudou užitečného signálu a nejvyšší složkou zkreslení.
- Harmonické zkreslení – THD, určuje se také pomocí jedné harmonické složky a jejích násobků změřených na výstupu převodníku.
- Doba převodu – jedná se o maximální dobu potřebnou k ustálení stavu výstupní veličiny s povolenou chybou.
- Přechodné děje – doba sepnutí, doba rozepnutí spínačů v obvodové realizaci DA převodníku. [5]

2.2 Základní kategorie DA převodníků

2.2.1 Paralelní převodníky DA

Jedná se o jeden z nejrozšířenějších typů DA převodníků. Princip paralelního převodníku spočívá ve spínání řízených zdrojů proudu, či připojování rezistorových sítí za účelem zvýšení, či snížení výstupní veličiny (napětí nebo proud). Spínače jsou řízeny logickým signálem. Do této kategorie spadá několik provedení:

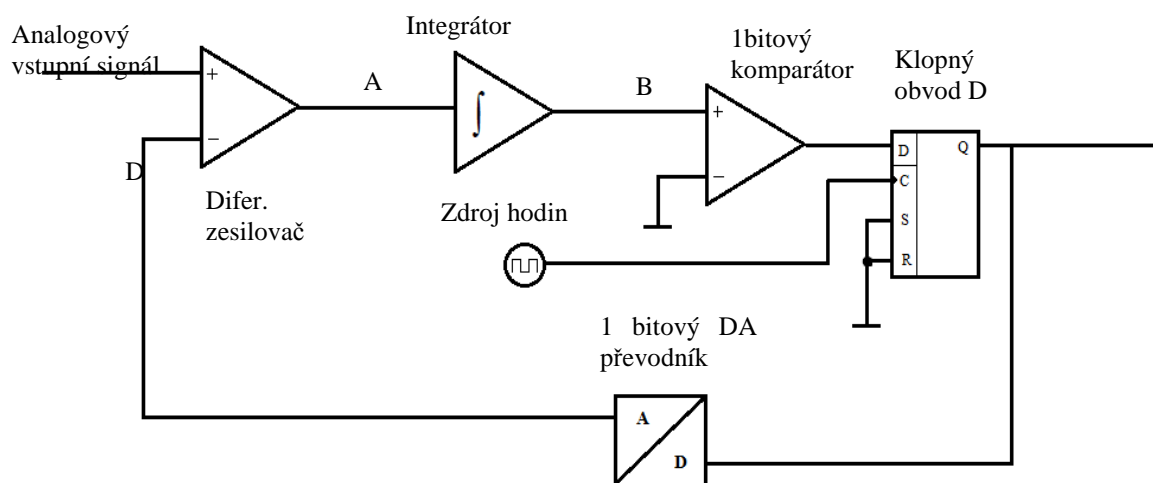
- Základní převodník D/A s proudovým výstupem – Toto zapojení využívá zapojených n -počet referenčních zdrojů proudu paralelně, které jsou v sérii se spínačem, který je do obvodu buď připojuje, nebo odpojuje.

Každý zdroj proudu má svou velikost. Mezi nevýhody patří problematika dodržet přesně stanovené proudy jednotlivých referenčních zdrojů.

- DA převodník s váhovými rezistory – Základním prvkem je zdroj referenčního napětí, ke kterému jsou připojovány váhové rezistory, které spolu s operačním zesilovačem v součtovém zapojení ovlivňují výstupní napětí. V případě, kdy je v signálu řídicí spínač log. 1, je váhový rezistor připojen ke zdroji referenčního napětí. Je-li řídicím signálem log. 0, je rezistor připojen k zemi. Velkou výhodou je malý počet rezistorů v síti a konstantní proud tekoucí spínačem. Nevýhodou je nutnost dodržet toleranci váhových rezistorů, což je obtížné především při výrobě integrovaného obvodu. Toto lze upravit speciálním zapojením, například zvolit zapojení odporové sítě typu T, kdy se dá vyhnout použití velkých hodnot rezistorů (což je pro výrobu integrovaných obvodů důležité). [5]

2.2.2 Sigma-Delta převodníky DA

Sigma-delta převodníky jsou určeny pro velice přesné převody. Jejich hlavní nevýhodou je kvantizační chyba, která je ale obvodovým řešením a procesem převodu eliminována. Převod mezi digitálním a analogovým signálem je tvořen procesy: interpolačním filtrováním, sigma-delta modulací, převodem digitální veličiny na analogovou a filtrováním nežádoucích vysokofrekvenčních složek.



Obr. 2.1 Blokové schéma AD sigma-delta modulátoru

Na obrázku 2.1 lze vidět sigma-delta modulátor prvního řádu. Modulátor je určen k převodu analogové spojité veličiny na digitální informaci, kde velikost napětí je reprezentována jako šířka impulzu. Vstupní napětí je integrováno a v bodě B je porovnávána velikost integrovaného napětí. Pokud je napětí vyšší než 0V, výstupem komparátoru je logická úroveň 1. Ta je klopným obvodem D přivedena na výstup, odkud je tato informace převedena na analogový signál. Tento analogový signál je přiveden na invertující vstup diferenciálního zesilovače. Je-li toto napětí vyšší než

napětí vstupního signálu, pak výstupní napětí integrátoru začíná klesat a pokud je dosažena hodnota napětí v bodě B menší než 0V, je výstupem komparátoru úroveň logická 0. Tato informace je opět předána na výstup klopného obvodu D, odkud je převedena na analogový signál, který je vyhodnocován diferenciálním zesilovačem a celý proces se opakuje.

U DA převodníku se využívá stejný proces s tím rozdílem, že modulátor i vstupní filtr jsou digitální. Komparátorem modulátoru je vyhodnocován signál, který jde z integrátoru. Podle toho je na výstup přiváděno kladné nebo záporné napětí. Za podmínky, že vzorkovací kmitočet bude vysoký, lze uvažovat, že výstupní napětí bude rovno střední hodnotě těchto kmitů. Výhoda sigma-delta DA převodníků je jejich vysoká přesnost a dobré hodnoty odstupů rušivých signálů. Nevýhodou v některých aplikacích může být malá vzorkovací frekvence. [5]

3 ELEKTRONKY

Dnes se již tyto elektronické součástky moc nevyužívají. Jejich parametry mnohokrát překonaly tranzistory. Velkou nevýhodou elektronek je potřeba tepla, aby byla možná emise elektronů z kovu. Tento fakt vysoce ovlivňuje účinnost elektrony. Další nevýhodou je velikost elektronek, kdy při jejich použití je nutno alokovat poměrně dost prostoru a nutnost brát v potaz velikost napájecího napětí, což komplikuje stavbu zdroje a zanáší nároky na bezpečnostní úpravy, jako jsou například větší izolační mezery při návrhu desky plošných spojů, dimenzování izolace vodičů a další. Přes všechny své negativní vlastnosti jsou elektrony hojně vyhledávány muzikanty, kdy například v audio aplikacích mají právě elektrony své nezastupitelné místo pro jejich charakteristický zvuk. Elektronkový zvuk je způsoben především zkreslením tvořeným hlavně druhou harmonickou složkou, což je tón o oktávu vyšší, na rozdíl od zvuku tranzistorového zesilovače, kde je dominantní třetí harmonická složka, pro lidské ucho velmi nepříjemná. Dalším aspektem elektronkového zvuku je tvar limitace, kdy k limitaci dochází velmi pozvolna, což ovlivňuje frekvenční spektrum menší tvorbou vyšších harmonických, než je tomu v případě ostré limitace tranzistorového zesilovače. Výhodou elektronek je jejich vysoká přebuditelnost v případě, kdy je správně nastaven pracovní bod. [6]

3.1 Princip elektronek

Ve vakuové technice se využívá pohyb volných elektronů a dopad na elektrodu. Při běžném stavu však polovodivé elektrony nedokážou samovolně vystoupit z pevné látky, protože jim brání síla elektronové atmosféry a síla elektronového obrazu. Aby dokázaly elektrony opustit pevnou látku, je zapotřebí jim dodat dostatečně velkou sílu pro překonání potencionální bariéry na povrchu. Tato energie se nazývá výstupní práce. Tato energie je elektronům dodávána pomocí pěti druhů emisí[6]:

- Tepelná emise – jedná se o emisi, která nastává při překonání prahové teploty T_p .

- Světelná emise – neboli také vnější fotoelektrický jev, je způsoben dopadem fotonů záření. Je dána dvěma zákony – Einsteinovým zákonem, kdy energie emitovaných elektronů je funkcí kmitočtu dopadajícího záření a nezávisí na intenzitě osvětlení. A Stoletovým zákonem, kdy množství emitovaných elektronů je přímo úměrný světelnému toku.
- Sekundární emise – vzniká dopadem primárních elektronů, které jsou urychleny elektrickým polem.
- Emise dopadem těžkých částic – je velmi podobná sekundární emisi, ale je způsobena odevzdáním energie elektronům „elektronové atmosféry“, z dopadu částic iontů nebo atomů, které se nedostávají až do mřížky.
- Tunelová emise – způsobuje emitování elektronů bez dodání energie z vnějšku.

3.2 Typy elektronek

3.2.1 Vakuová dioda

Svoji konstrukcí je nejjednodušší elektronekou, je tvořena anodou a žhavenou katodou, která má schopnost dodávat velké množství elektronu, následkem čehož vznikne v blízkosti katody prostorový náboj, který vytvoří potenciální minimum. Při přiložení kladného napětí na anodu, elektrony z potenciálního minima jsou odčerpány k anodě. Při dostatečně velkém potenciálu anody, jsou všechny elektrony odsávány a diodou teče proud. Proud v závěrném směru je velmi malý a je způsoben nedokonalostí vakua. Anoda je zahřívána dopadem elektronů. Teplo je nutno odvést, to je prováděno buď sáláním nebo u výkonových elektronek je přizpůsobena jejich konstrukce aby bylo možné anodu chladit vzduchem, či vodou. [7]

3.2.2 Trioda

Je tvořena přidáním mřížky mezi anodu a potenciální minimum. Velmi záleží na blízkosti uložení mřížky a to především kvůli zesilovací schopnosti elektrony. Při přiložení kladného napětí je anodový proud zvětšen. Tohoto jevu se využívá pouze v impulzních obvodech a v zesilovacích obvodech. Při přiložení záporného napětí na elektrodu mřížky dojde ke zmenšení anodového proudu. [7]

Triody jsou využívány především jako nf zesilovače. Mezi dnes běžně dostupné triody patří ECC83. Jde o dvojitou triodu s nepřímým žhavením. Jejím ekvivalentem je 12AX7. Mezi výkonové triody lze zařadit 6080WC od výrobce Philips.

3.2.3 Tetroda

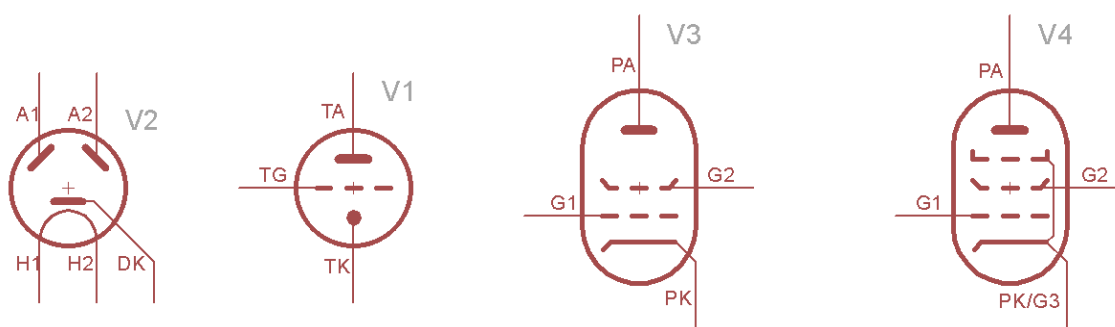
Přidáním další mřížky mezi anodu a první mřížku dojde k eliminaci průchozí kapacity a zvětšení zesílení. Nevýhodou může být vliv sekundární emise z anody, kdy sekundární elektrony jsou přitahovány ke stínící mřížce a dochází ke zmenšení pracovní oblasti anodových charakteristik (dynatronní jev). [7]

Vyrábí se výhradně jako koncové svazkové tetrody. Jejich využití je v koncových vstupních zesilovačích. Dnes volně dostupná elektronka je 6BG6.

3.2.4 Pentoda

Vložení další mřížky, mezi anodu a druhou mřížku, dochází k potlačení dynatronního jevu. Tato mřížka se propojí s katodou a vytvoří se další potencionální minimum, brání přechodu sekundárních elektronů na stínící mřížku. [7]

Využití pentod je především v zesilovačích pro nízkofrekvenční i vysokofrekvenční techniku. Jsou konstruovány jak výkonové pentody, tak pro zpracování malých signálů. Mezi dnes dobře dostupné pentody patří EF86 nebo výkonová pentoda EL34, EL84.



Obr. 3.1 elektronické schémata jednotlivých typů elektronek

Na obrázku 3.1 lze vidět triodu V1, diodu V2, tetrodu V3 a pentodu V4.

4 SOUČASNÉ TRENDY VYUŽITÍ DA PŘEVODU V HUDEBNÍ ELEKTRONICE

Analogové zdroje zvuku, mezi které lze zařadit například gramofony nebo magnetofony, jsou dnes již na ústupu. Velké oblíbenosti se naopak těší jako zdroj zvuku například počítač, tablet nebo mobilní telefon. Zmíněné digitální přístroje jsou schopny přehrávat soubory uložené v pamětech nebo například z internetu v podobě různých audio nebo video streamů. Lze je využít i jako přehrávače videa, což zvyšuje jejich univerzálnost a následnou oblíbenost. Další obrovskou skupinou uplatnění DA převodníků je ve studiové hudební elektronice, kdy díky převodu analogového signálu na digitální lze rozšířit práci s jednotlivými nahrávkami o další možnosti. Proto je v dnešní době možné pozorovat velký vývoj v oblasti DA převodu, a to jak od zdrojů signálu, kterými mohou být například složité zvukové procesory, až po vývoj speciálních operačních zesilovačů, určených do rekonstrukčních filtrů.

4.1 Vstupní digitální obvody

Jejich úkolem je komunikovat s uživatelským zařízením, například počítačem nebo

tabletem. Komunikace je prováděna pomocí sběrnic. Mezi nejvyužívanější sběrnice pro přenos digitálního zvukového signálu je standart S/PDIF, který je už dnes nahrazován komunikací pomocí USB, případně po síti prostřednictvím ethernetu nebo wifi.

Příkladem těchto obvodů může být rodina USB audio kodeků PCM270x firmy Texas Instruments. Jedná se o jednočipové USB audio převodníky, které jsou schopny převést informaci o 16 bitech a maximální vzorkovací frekvencí 48kHz. Provedení DA převodníku s tímto obvodem je velice levné a jednoduché, ale výstupní parametry jsou pro aplikace, kde jsou vysoké nároky, nedostačující. Některé obvody této rodiny, například PCM2706, obsahují sběrnice pro připojení externích převodníků (I²S). Velkou výhodou je integrovaný DA převodník. [8]

Dalším řešením je obvod Tenor TE7022L. Jedná se o USB audio kontrolér, podporující USB 2.0 a full speed datový přenos (12Mbps). Jeho maximální rozlišení je 24 bitů a velikost vzorkovací frekvence je 96kHz. Výstupem tohoto obvodu jsou digitální data na sběrnici I²S. Předpokládá se použití dalšího DA převodníku. Obvod Tenor TE7022L je vybaven řídicími sběrnici, jako jsou UART, MIDI, SPI. Jedná se však o zastaralý obvod, který je již dnes překonán. [9]

Mezi jedno z nejlepších řešení přenosu zvuku pomocí USB lze zařadit využití obvodu CM6631 firmy Cmedia. Pro přenos dat lze využít standart USB 2.0 nebo S/PDIF. Jeho maximální rozlišení je 32 bitů a velikost vzorkovací frekvence až 192kHz. Proto je hojně využíván v komerčních DA převodnících. [10]

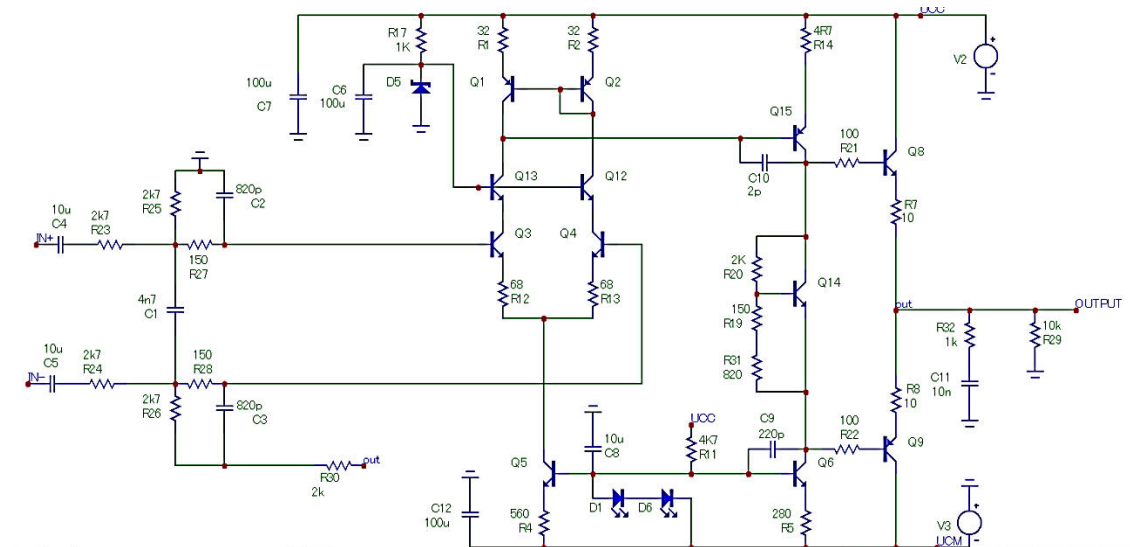
Mezi další řešení spadají specializované obvody výrobců zvukových karet, využívajících pro přenos zvukového signálu sběrnice PCI, případně PCI Express.

4.2 Analogové obvody

Analogové obvody připojené k výstupu převodníků plní funkci především filtru dolní propusti. V nejjednodušším případě je filtr realizován pomocí RC článku připojeného k napěťovému výstupu převodníku. Tímto řešením je dosaženo nízké ceny, ale předpokládá se, že napěťový výstup musí být schopen dodat dostatečný výkon. Toto řešení je využito především v nejlevnější spotřební elektronice.

Další možnost realizace filtru zahrnuje využití operačních zesilovačů. Nevýhodou oproti předchozímu řešení může být nutnost použití dalšího napájecího zdroje. Použitím operačního zesilovače je zvýšena impedance filtru, který díky diferenciálnímu vstupu operačního zesilovače je při využití symetrického výstupu DA převodníku potlačen souhlasný signál a zvýšen odstup rušivých složek na výstupu filtru. Tím je zajištěna i minimalizace zkreslení. Operační zesilovač lze také využít jako převodník proudového výstupu převodníku na napěťový výstup. Dnes se lze setkat na trhu s operačními zesilovači určenými přímo pro audio aplikace. Příkladem takového zesilovače je OPA1612 firmy Texas Instrument, který se hodí především do filtrů dolní propusti, případně jako zesilovač. Dalším typem může být OPA827, který je vhodný do převodníku proudu na napětí. [11] [12]

Mezi špičkové řešení analogových výstupních obvodů je nutno zahrnout řešení pomocí diskrétních součástek. Takovéto řešení zahrnuje obrovskou variabilitu, ale z důvodu větší náročnosti na návrh a výrobu je dražší. Z tohoto důvodu se s tímto řešením lze setkat spíše na poli HI END zařízení pro přenos zvuku.



Obr. 4.1 Schéma diskretního operačního zesilovače zapojeného jako dolní propust

Na obrázku lze vidět příklad diskretního řešení filtru. Diferenciální signál je přiveden na vstupy, které zároveň tvoří filtr dolní propusti. Tranzistory Q3 a Q4 jsou zapojeny jako rozdílový zesilovač, napájený zdrojem proudu tvořeným tranzistorem Q5 s aktivní zátěží proudovým zrcadlem a kaskódou pro zlepšení přenosu na vysokých frekvencích. Následuje napěťový zesilovač tvořený tranzistorem Q15, který je napájen zdrojem proudu s tranzistorem Q6. Tranzistor Q14 je zapojen jako násobič U_{BE} , kterým je zajištěno předpětí a teplotní stabilizace pro emitorové sledovače tvořené tranzistory Q8 a Q9. Zavedením zpětné vazby je docíleno snížení zkreslení a stanovení zesílení. Kvalita zvukového výstupu je závislá na volbě součástek. Při využití nízko-šumových tranzistorů ve vstupním zesilovači, tranzistorů s vysokým transientním kmitočtem na pozicích Q15, Q5 případně i na pozicích Q8, Q9 a Q14, bude docíleno vysoké zvukové neutrality, velmi nízkého zkreslení a malé výstupní impedance. Kromě výběru součástek je výsledný zvuk ovlivněn volbou napájecího zdroje a topologií desky plošných spojů.

U některých výrobců se lze také setkat s řešením filtru a zesilovače pomocí elektronek. Toto řešení je vyhledáváno a preferováno především pro jeho charakteristický zvuk. Problematika v jeho použití spočívá především s vysokými nároky na napájecí zdroje, malou účinností a vysokou cenou. I přes zmíněné problémy je i nadále využíváno.

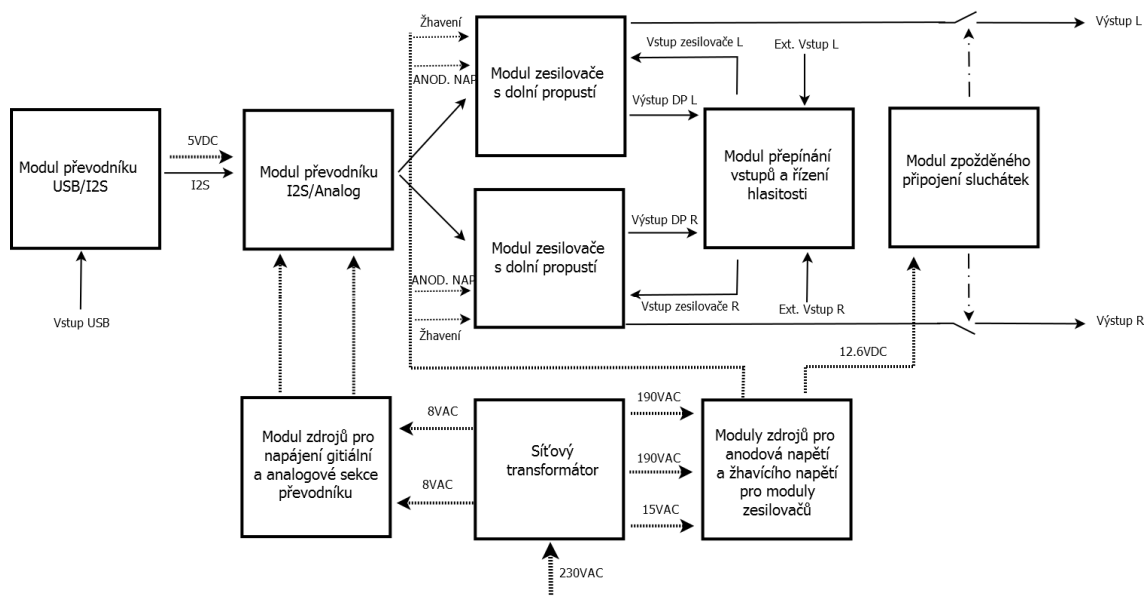
5 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Hlavním požadavkem na sluchátkový zesilovač je co největší odstup užitečného signálu od rušivých složek, dostatečná šířka pásma a schopnost dodat dostatečný výkon i do poměrně malých impedancí. Impedance sluchátek se pohybuje od 16Ω až po stovky ohmů. Impedance sluchátek je také komplexní veličinou závislou na frekvenci a může docházet k impedančním poklesům. Z tohoto důvodu je potřeba dodatečně dimenzovat koncový stupeň.

K dosažení co největšího odstupu rušivých složek musí být kladen důraz na napájecí napětí. Tato problematika se týká všech částí, od napájení digitální části

obvodu, převodníku až po anodové napětí elektronek. Žhavicí napětí musí být filtrováno a stabilizováno a po zapnutí musí být potlačen proudový náraz tak, aby nedošlo k poškození žhavicího vlákna a byla zajištěna co nejdelší životnost elektronky.

D/A převod musí být co nejpřesnější. Je vyžadováno co největší rozlišení a rychlost vzorkování. V dnešní době je využíváno rozlišení 24 bitů a rychlost vzorkování až 192kHz.



Obr. 5.1 Blokové schéma navrženého zařízení

Konstrukce zařízení byla zvolena jako modulární. Především pak z důvodu snadné montáže v zařízení a snadné opravitelnosti. Modulární konstrukce také přináší výhodu v podobě zmenšení přeslechů mezi jednotlivými kanály. Z toho důvodu jsou i rozděleny napájecí zdroje, tak aby každý koncový zesilovač byl napájen svým vlastním.

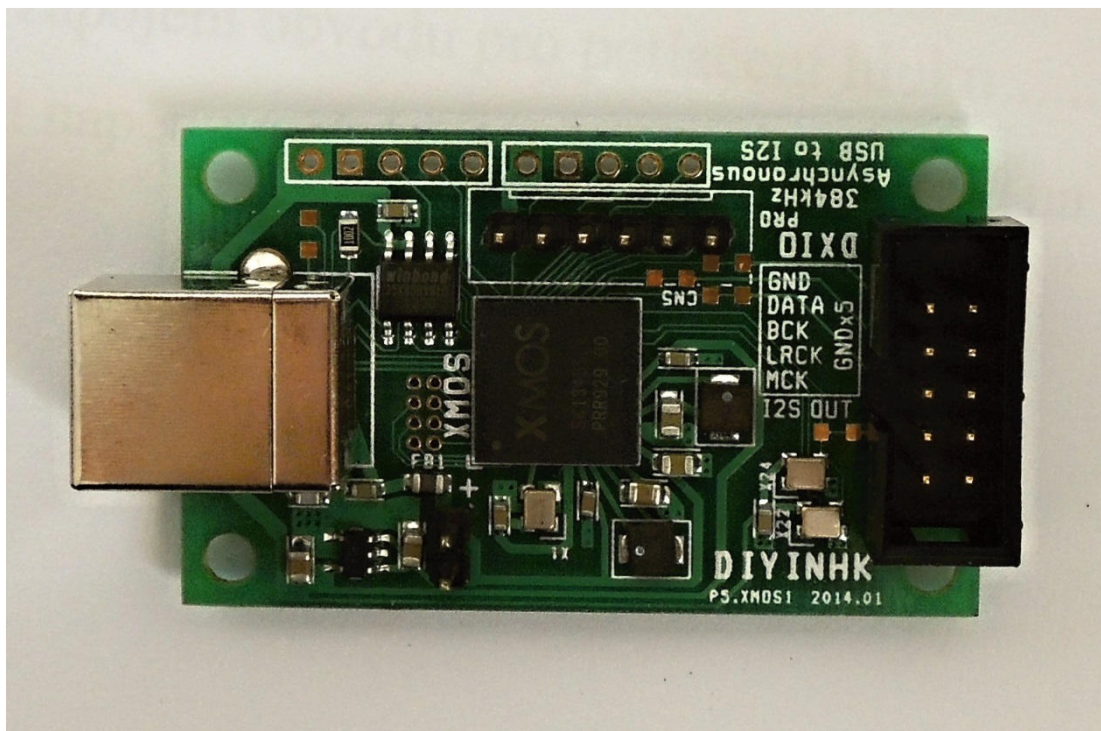
Zařízení je navrženo pro krabici s hliníkovými bočnicemi o tloušťce 5mm, které slouží i pro odvod tepla od výkonových součástek zdroje. Velká pozornost je věnována izolaci tranzistorů ve zdrojích pro anodové napětí. Tranzistory musí být izolovány od hliníkové bočnice pomocí slídových izolačních podložek s minimálním izolačním napětím 5kV. Nesmí být použita žádná pasta pro zlepšení přenosu tepla, která by mohla způsobit zhoršení izolačních schopností. Na tranzistoru je tepelná ztráta 2W, tudíž množství vzniklého tepla není velké a není potřeba ho co nejrychleji odvést z čipu pryč. Nejvhodnější je zde použít tranzistory v celo-izolovaném pouzdře TO220. U stabilizátorů napětí pro žhavení je vhodné použít izolační slídovou podložku s teplovodivou pastou. Napětí sekundárního vinutí transformátoru je však navrženo tak aby i zde vznikala co nejmenší výkonová ztráta.

5.1 USB Mikrokontrolér

Základním účelem je zprostředkovat přenos dat mezi počítačem a převodníkem. Tuto funkci zajišťuje mikrokontrolér, integrující funkce USB řadiče s UAC a převodníku z digitálního na analogový signál. Mohou také obsahovat další speciální funkce jako je řízení hlasitosti, sběrnice pro řízení externím mikrokontrolérem, rozhraní pro přenos informace do dalších periférií, jako je například externí DA převodník, I²S.

Při návrhu byl využit obvod XS1-U6A-64-FB96. Toto řešení je nabízeno firmou Xmos. Rodina mikrokontrolérů řady xCORE je vytvořena, aby nabídla 32 bitové rozlišení a rychlost vzorkovací frekvence až 192kHz. Mikrokontrolér má plnou podporu pro UAC1 i UAC2. Pro lepší činnost je ale doporučováno UAC 2. Operační systémy, které tento kodek obsahují, nepotřebují ovladač. Pro operační systémy Microsoft Windows je ale vyžadován ovladač, který firma nabízí. Je zde integrováno 38 pinů pro vstupně výstupní informace, které jsou libovolně programovatelné. Pro komunikaci s DA převodníkem je využita sběrnice I²S, která je schopna přenášet i taktovací signál, což znamená, že převodník i mikrokontrolér je řízen jedním zdrojem taktovacích hodin, což zaručuje vynikající synchronizaci a velmi nízké hodnoty jitteru. [13]

Pro správnou činnost je nutné využít oscilátory s co nejmenším vlastním šumem a nejmenšími hodnotami jitteru. Stabilita kmitočtu je nutná z důvodu správné polohy vzorku při rekonstruování. Při jejím velkém kolísání dochází ke zhoršení výsledného zvuku. Stabilita kmitočtu má jednotku ppm, která vyjadřuje počet nepřesných taktů na množství 1 milion. V dnešní době se lze setkat na trhu s velkým výběrem oscilátorů pro řízení mikrokontrolérů, od velmi levných krystalů, kde se hodnota ppm pohybuje od 50 po 100, až po velmi přesné oscilátory, které jsou umístěné v jednom pouzdře s vyhřívacím prvkem a termostatem, tak aby byla potlačena tepelná závislost. Mezi současné výrobce těchto oscilátorů s ppm <1, patří firma Crystek Corporation, firma FOXElectronics, nebo firma NDK.



Obr. 5.2 Fotografie modulu USB/I2S převodníku firmy DIYNHK

Z důvodu, že je obvod vyráběn pouze v pouzdře FBGA, má 96 pinů které jsou umístěny zespod pouzdra, je návrh desky plošných spojů velice náročný. Je vyžadováno použití několika vrstev a většího počtu prokovev. Rozteč mezi jednotlivými piny je 0,8mm. Osazování desky plošných spojů tímto pouzdrém je v běžných amatérských podmínkách téměř nemožné. Z tohoto důvodu je využit modul, který je tímto procesorem osazený a naprogramovaný jako zprostředkovatel převodu USB na I²S. Modul je vybaven špičkovým oscilátorem firmy NDK. Na obrázku 5.2, je možno vidět rozložení součástek na desce plošných spojů. Napájení modulu je řešeno nízkošumovým regulátorem. Při návrhu plošného spoje bylo myšleno i na občasnou nutnost impedančně přizpůsobit sběrnici I²S. Pro tuto možnost jsou připraveny pady pro napájení dodatečných rezistorů. [14]

5.2 Návrh modulu DA převodníku s I²S vstupem

Volbou obvodu Xmos je nutné použít externí obvod zajišťující převod digitální informace na analogový signál. Pro přenos informace je využita sběrnice I²S (inter-IC sound). Jedná se o sběrnici speciálně navrženou pro komunikaci mezi prvky v řetězci na zpracování audia, jako například pro komunikaci mezi DA převodníkem a signálovým procesorem. Tato sběrnice je tvořena třemi linkami, dvakrát časově multiplexovanou datovou linkou, taktovací linkou a pro výběr slova. Pro řídicí signály se využívají jiné sběrnice. Vysílač i přijímač jsou taktovány pouze jedním zdrojem hodin. Z důvodu, že mikroprocesor Xmos je napájen z USB, je ale nutné sběrnici galvanicky oddělit. Napětí

sběrnice USB může obsahovat vysokofrekvenční rušivé složky ze spínaného zdroje počítače, či špatnou topologií základní desky, kdy je další rušivé napětí indukováno do spojů. Samotným vedením je indukováno další rušivé napětí.

5.2.1 Galvanické oddělení sběrnice I²S

Použitím galvanické oddělené sběrnice I²S je docíleno vyššího odstupu rušivých signálů. To je ale na úkor nutnosti napájet DA převodník ze samostatných zdrojů napětí. Modul s převodníkem je tedy napájen celkově třemi zdroji. Jako první zdroj napájení je využito napájení z USB modulu, které je připojeno na vstupní část izolátoru. Tím je zaručeno mimo jiné i to, že napěťové úrovně na jednotlivých pinech sběrnice jsou na stejném napěťovém potenciálu jako izolátor. Druhý zdroj je využit pro napájení celé digitální části modulu převodníku. Tím je napájena výstupní sekce izolátoru sběrnice a digitální část integrovaného převodníku WM8740. Třetí napájecí zdroj je vyhrazen pro připojení na analogové části převodníku. Mezi prvním a druhým zdrojem musí být země galvanicky oddělena s dostatečně velkou mezerou. Druhý zdroj pro napájení digitální části analogového převodníku a třetí zdroj pro analogovou část musí mít také země odděleny, ale v místě nejbližší samotnému čipu WM8740 musí být propojeny. V případě, kdy zůstanou rozpojeny, vzniká mezi zeměmi kapacitní vazba, přes kterou se mohou dále šířit rušivé signály. Izolace sběrnice I²S přináší další nevýhodu v podobě zvětšení kolísání zpoždění, které je způsobeno samotným izolátorem. Kromě kolísání je nutné u výběru izolátoru také hlídat maximální přenosovou rychlost. Velkou výhodou galvanického oddělení je také ochrana proti přepětí.

V současné době je na trhu nabízen izolátor firmy NVE Corporation IL715, který má nejmenší vlastní jitter. Jeho hodnota dosahuje pouhých 100ps. Alternativou pro tento obvod může být izolátor firmy Texas Instruments ISO7240C, který má ale vyšší jitter, což se negativně projeví ve zvuku.

5.2.2 Volba integrovaného DA převodníku

Dnes se lze na trhu setkat s nepřeberným množstvím DA převodníků. Zpravidla jsou úzce specializovány pro daný účel. I v oblasti pro audio a zábavní elektroniku je velký výběr. Mimo funkce převodu digitálního signálu na analogový jsou integrované obvody doplněny o řadu dalších funkcí jako je například funkce mute, řízení hlasitosti, možností využít integrovaný filtr dolní propusti a dalšími. Převodníky mohou být softwarově programovatelné, kdy jejich parametry a požadované funkce nastaví řídicí mikrokontrolér nebo mohou být hardwarově konfigurovatelné, kdy přivedením různých logických úrovní na nastavovací piny je nastavena požadovaná konfigurace. Některé integrované obvody mohou být konfigurovány oběma způsoby. U běžně dostupných DA převodníků se lze setkat se dvěma druhy analogového výstupu. Jedním je napěťový výstup a druhým je proudový. Z důvodu použití elektronek je velmi výhodné použít napěťový výstup. Odpadá zde nutnost převádět proudový výstup na napětí, tak aby bylo možné jej dále zpracovat elektronikou.

Pro řešení DA převodu je využit obvod WM8740 firmy Wolfson. Jedná se o dvojitý, sigma-delta převodník, určený pro audio zařízení. Vstupní slovo může být v rozsahu 16 až 24 bitů a smplovací frekvence může nabývat od 8 do 192kHz. Převodník podporuje dva režimy pro nastavení jeho činnosti. Hardwarový režim, kdy je možno nastavit vstupní rozsah a funkci mute, pomocí vhodných kombinací zapojení

řídících pinů. Softwarový režim, kdy je možno řídit hlasitost, otočení fáze, vstupní slovo a připojit výstupní filtr typu dolní propust. Softwarový režim je řízen pomocí sběrnice SPI. Výstupem převodníku je plně diferenciální napěťový signál. Díky tomu lze dosáhnout vysokých hodnot odstup rušivých složek, způsobených například špatným napájením referenčního napětí, či odstranit jakékoliv jiné souhlasné složky na výstupech. [15]

5.2.3 Napájecí zdroje pro DA převodník

Jak už bylo zmíněno v kapitole 4.2.1, modul je napájen celkově třemi zdroji napětí. Zdrojem z modulu USB je napájena vstupní část izolátoru. Zdrojem pro digitální část a pro analogovou část DA převodníku. Takto dělené napájení ale přináší komplikaci při návrhu a výsledné zařízení je při použití každého dalšího zdroje dražší. Z tohoto důvodu je v levných komerčních produktech zvolen kompromis v jejich počtu na úkor kvality samotného zvukového výstupu. Velkou pozornost je potřeba věnovat zdrojům pro napájení analogové sekce, které slouží jako zdroje napěťovým, případně proudovým referencím uvnitř DA převodníku.

Zdroj pro napájení digitální části nemusí splňovat přísná kritéria. Je nutno použít stabilizované napájecí napětí. Vyhoví většina průměrných stabilizátorů. Při použití napájení spínaným zdrojem je nutno zkontrolovat, zdali není rušen vysokofrekvenčními složkami způsobenými nedostatečnou filtrací zdroje. V práci je pro napájení digitální části použit stabilizátor 78L05, měnící minimální napětí 7V na 5V. Odběr digitální části během měření nepřesáhnul 40mA.

Zdroj pro analogovou část musí splňovat vysoké nároky na linearitu a musí dosahovat velmi vysokého potlačení šumu. Je nutno vzít v potaz, že napětím ze zdroje jsou napájeny interní napěťové, případně proudové reference. Šum zdroje se pak může přenést do reference a odtud na výstup převodníku. Při napájení analogové sekce úroveň 5V je na výstupu napětí $2V_{RMS}$. Při použití 24 bitového převodu lze uvažovat, že napětí bit s nejnižší důležitostí bude mít logickou úroveň danou vztahem:

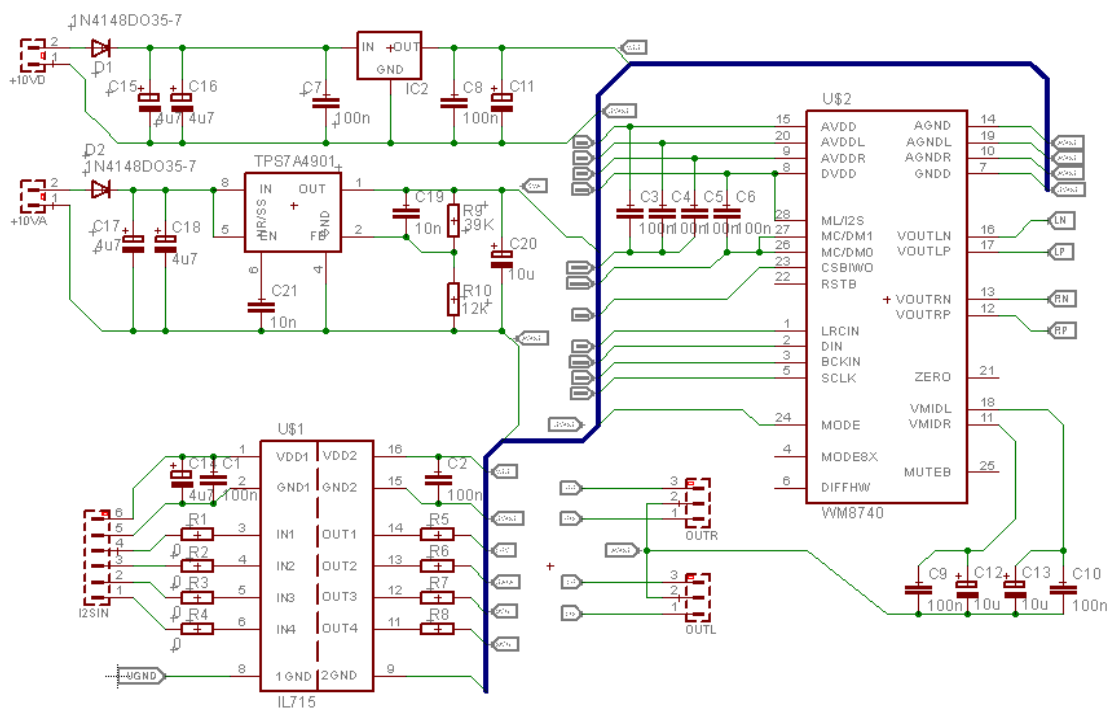
$$U_{LSB} = \frac{U_{OUT}}{2^N} \quad (4.1)$$

kde, U_{OUT} je napětí na výstupu, N udává počet bitů.

$$U_{LSB} = \frac{U_{OUT}}{2^N} = \frac{2}{2^{24}} = 119.2nV \quad (4.1)$$

Z toho vyplývá, že nejnižší úroveň napětí na výstupu je 119.2nV. Aby bylo možné vůbec dosáhnout takové přesnosti, musel by zdroj pro napájení analogové části mít vlastní šum menší než 119.2nV. Proto je tedy nutné použít zdroje s co nejmenším vlastním šumem.

Stabilizátor s takto nízkým šumem není běžně k sehnání. Jako dobrý kompromis se nabízí obvod TPS7A4901 firmy Texas Instruments, který má šum maximálně okolo 12 μ V. Tato hodnota je pro pásmo 20Hz až 20kHz a je udána pro maximální výstupní proud 150mA. Při měření na DA převodníku nebyl naměřen větší odběr než 15mA. I při hraniční hodnotě 12 μ V bude odstup na výstupu D/A větší než 98dBV.



Obr. 5.3 Schéma zapojení modulu převodníku I2S na analogový signál s použitím obvodu WM8740

5.3 Analogová část

Analogovou část lze rozdělit na dva hlavní bloky. Prvním blokem je pásmová propust, která zpracovává diferenciální signál z výstupu převodníku. Odděluje stejnosměrnou složku a slouží také jako rekonstrukční filtr typu dolní propust. Druhým blokem je výstupní zesilovač, zajišťující funkci zesílení signálu na potřebný výkon, případně napětovou úroveň. Mezi další důležité bloky analogové části patří napájecí zdroje, řízení hlasitosti, přepínání vstupů a obvod zpožděného připojení sluchátek k výstupu zesilovače pro potlačení rušivých zvuků při zapnutí zesilovače.

5.3.1 Návrh filtru typu pásmová propust

Dolní propust má za úkol odfiltrovat veškeré vyšší harmonické složky od přibližně 96kHz a výše. Vychází se ze znalosti Shannon – Kotělnikova teorému, že vzorkovací frekvence musí splňovat podmínku stanovenou rovnicí 4.1.

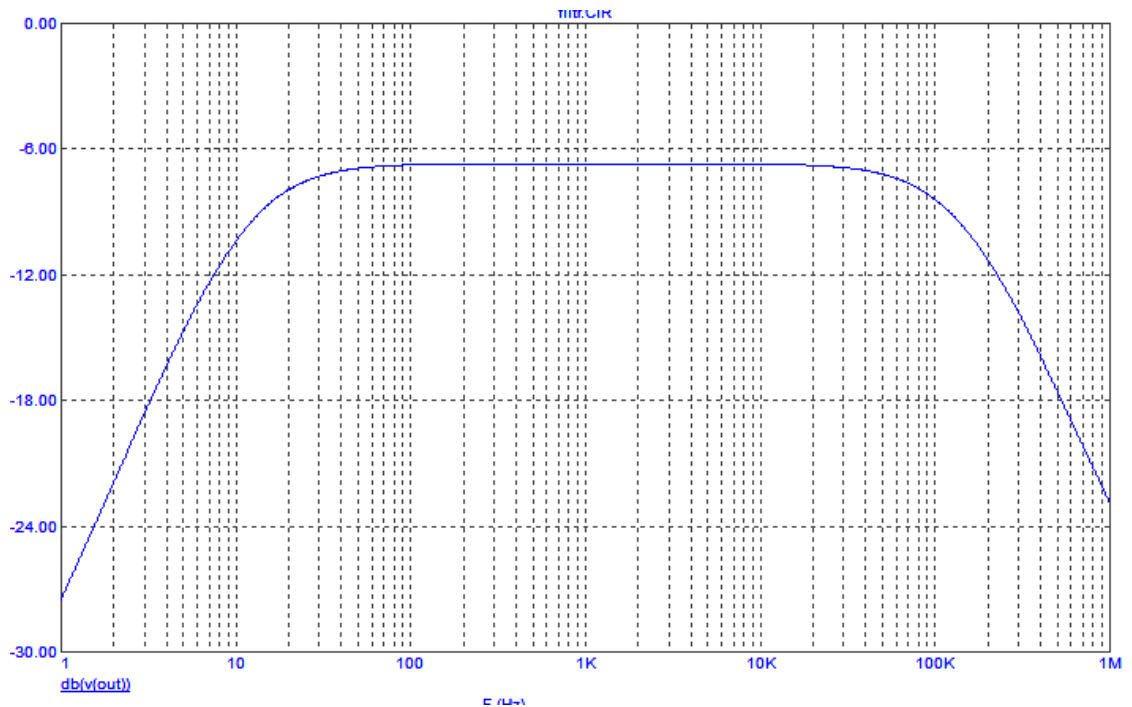
$$f_{vz} = 2 \cdot f_s \quad (4.1)$$

Kde f_{vz} je vzorkovací kmitočet, f_s je kmitočet zdroje signálu. Při rekonstrukci signálu je nutné propustit užitečné složky signálu a odfiltrovat nepotřebné složky, které

vznikly během převodu. Maximální přípustná frekvence je pak dána vztahem 4.2.

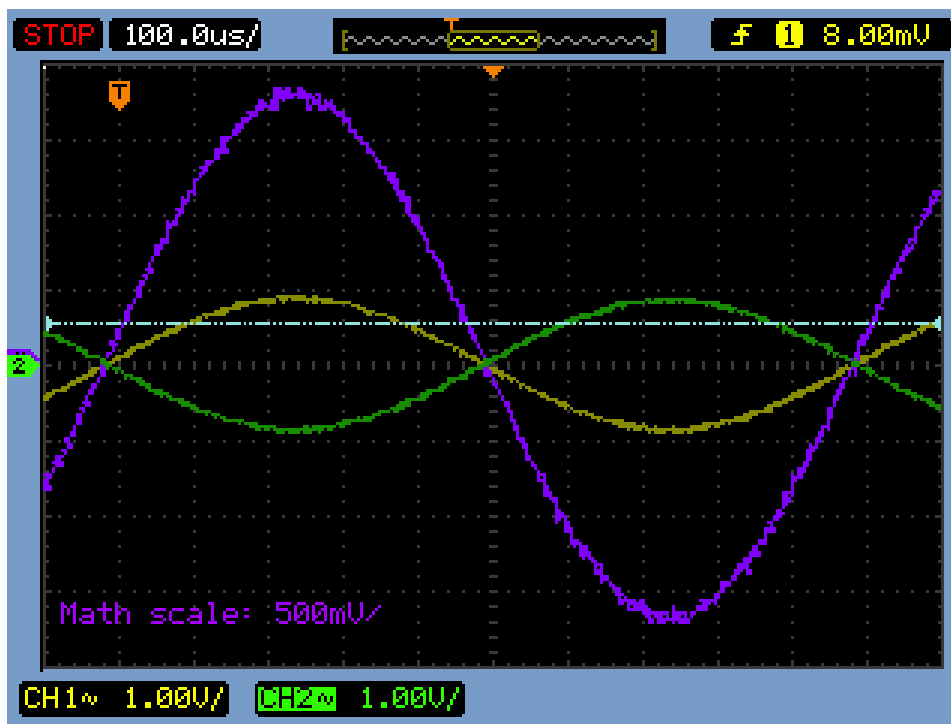
$$f_s \leq \frac{f_{vz}}{2} \quad (4.2)$$

Odtud vyplývá, že dolní propust by měla tlumit složky nad 96kHz. Lidské ucho je schopno slyšet zvuky až do frekvence okolo 20kHz, ale filtr je navržen i přesto na 96kHz z důvodu, že vyšší harmonické složky nad 20kHz, obsažené ve vzorcích digitálního signálu, budou také rekonstruovány. Tyto složky průměrné lidské ucho neslyší, ale slouží k dotvoření věrně rekonstruovaného signálu. Ve zvuku lze pak rozeznat více detailů.



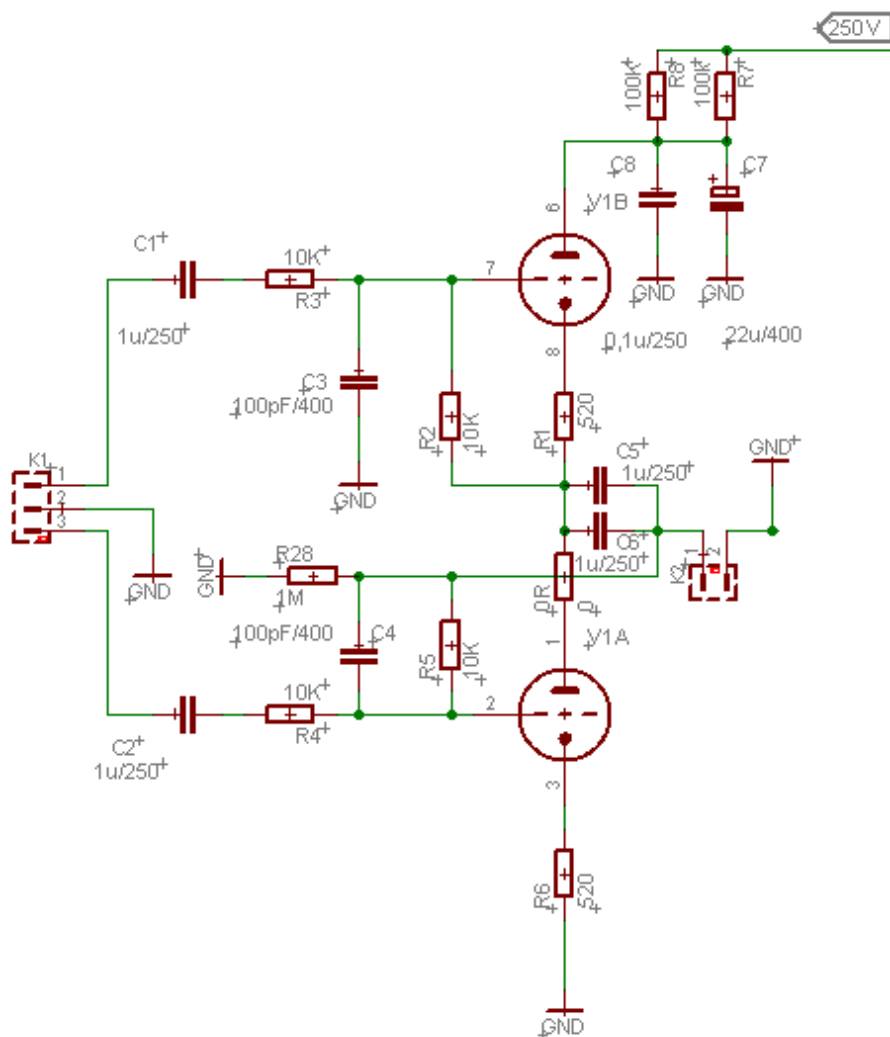
Obr. 5.4 Závislost výstupního napětí filtru na frekvenci

Z grafu frekvenční závislosti filtru dolní propusti je patrné, že frekvenční rozsah je 10Hz až 100kHz toleranční pásmo 3dB. Vstupní signál je z DA převodníku přiveden ke dvěma vstupům. Signál je v diferenciální podobě, tj. signály na vstupech jsou navzájem fázově posunuty o 180°. Je nutné jej převést na nesymetrický signál. Na obrázku 4.2 lze vidět průběh napětí na výstupu DA převodníku v závislosti na čase. Neinvertující výstupní signál je prezentován žlutým průběhem a invertovaný výstupní signál je prezentován zeleným průběhem. Rozdílem těchto signálů je získáno požadované nesymetrické napětí, zde označeno fialovou barvou. Je možné také využít libovolný signál pouze z jednoho výstupu, ale je to na úkor připravení se o možnost, potlačit souhlasné složky společné pro oba signály, které jsou tvořeny šumem zdroje a rušivými vyššími frekvenčními složkami způsobenými převodem.



Obr. 5.5 Průběh napětí na výstupech převodníku v závislosti na čase

Obvod filtru je realizován pomocí jedné dvojitě triody a vychází z topologie zapojení zvané Broskie Cathode Follower 2. Trioda V1B je zapojena jako katodový sledovač, který má přivedeno stejnosměrné napětí na gate. Takto zapojená trioda dále slouží jako aktivní zátěž pro triodu V1A. Ta je také zapojena jako katodový sledovač. Kondenzátory C1 a C2 slouží pro potlačení stejnosměrné složky z výstupu DA převodníku. Odporů R3, R4 a kondenzátory C3 a C4 tvoří filtr dolní propusti. Zapojení dosahuje velmi nízkého zkreslení, nízkého výstupního a vysokého vstupního odporu. Souhlasné složky vstupních signálů, stejně jako šum napájecího zdroje a část vyšších harmonických složek, vzniklých nelinearitou obvodu jsou potlačovány. Je použita dvojitá trioda 12AX7LPS firmy Sovtek. Oproti verzi 12AX7 je upravena část žhavení. Je použito spirálové žhavení a má prodlouženou anodu. Tím je docíleno velkého potlačení brumu přenášejícího se z vlákna. Prodlouženou anodou je docíleno dobré frekvenční odezvy a linearity. Výstupní odpor filtru se pohybuje řádově ve stovkách ohmů, což zaručuje možnost připojení zátěže s malou impedancí. Na výstup by se daly připojit také sluchátka s impedancí 600Ω. Obvod ale nezesiluje. [16]



Obr. 5.6 Schéma zapojení filtru typu dolní propust

5.3.2 Návrh koncového zesilovače

Výstupní zesilovač je určen k zesílení vstupního signálu na potřebnou úroveň. Předpokládá se možnost připojit sluchátka, kdy se impedance může pohybovat od 32Ω do 600Ω . Aby bylo zařízení univerzální, je nutné dimenzovat výstupní parametry zesilovače na tyto impedance. Maximální výstupní napětí lze odvodit z předpokladu, že maximální příkon sluchátek pro domácí použití se pohybuje v řádech desítek miliwattů. Pro výstupní maximální výkon bude platit vztah 4.3.

$$P_{MAX} = U_{MAX} \cdot I = \frac{U^2}{Z} \quad (4.3)$$

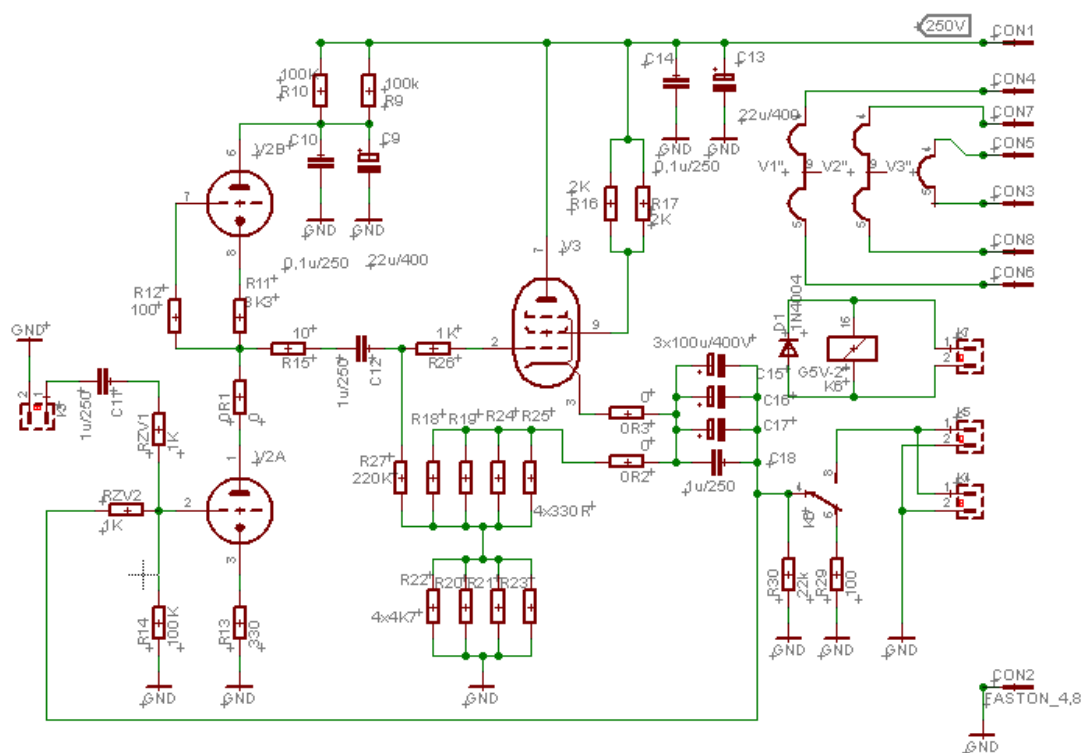
Pro výkon $0,05W$ do 620Ω je pak zapotřebí výstupní napětí dle vztahu 4.4.

$$U_{MAX} = \sqrt{P_{MAX} \cdot Z} = \sqrt{0,05 \cdot 600} = 5,477V \quad (4.4)$$

Podobným způsobem lze odvodit i maximální výstupní proud, který zesilovač musí být schopen dodat na výstup. Oproti předchozímu případu, je ale uvažována nejmenší možná impedance 16Ω . Pak je maximální výstupní proud roven výpočtu rovnice 4.5.

$$I_{MAX} = \sqrt{\frac{P_{MAX}}{Z}} = \sqrt{\frac{0,05}{32}} = 0,039A \quad (4.5)$$

Je nutné, aby zesilovač nebyl schopen odevzdat větší výkon než $0,05W$, z důvodu, že by mohlo dojít k poškození lidského ucha. Při větším rozkmitu napětí by mohlo dojít k poškození dalšího připojeného zesilovače, v případě využití zařízení jako předzesilovače.

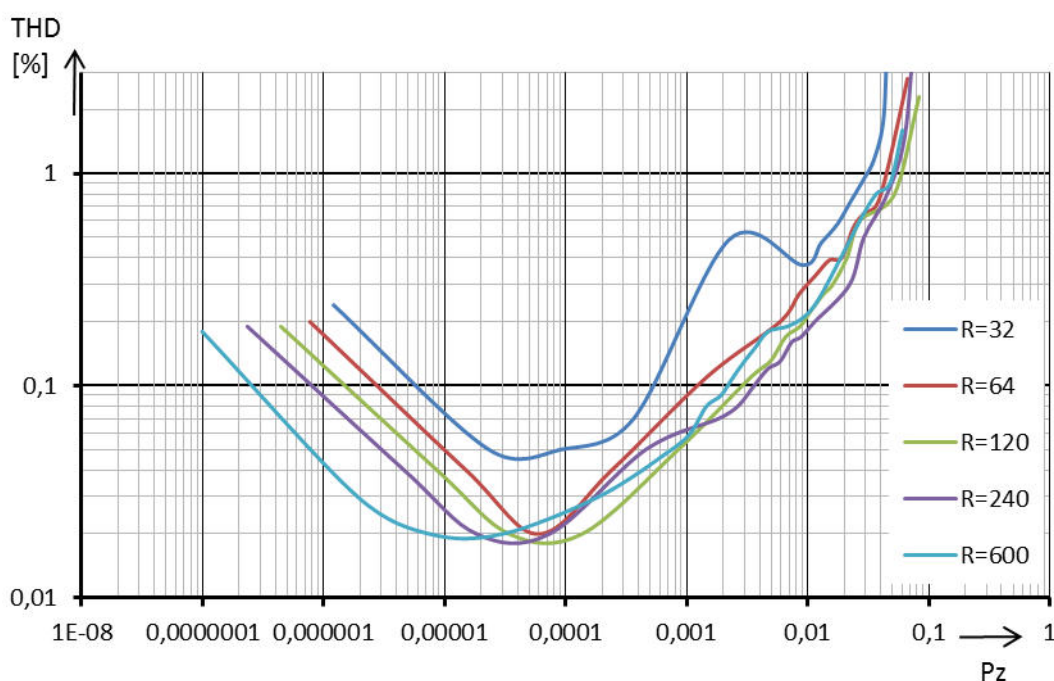


Obr. 5.7 Schéma zapojení výstupního zesilovače

Zesilovač lze rozdělit na dvě sekce. První část je tvořena opět dvojitou triodou 12AX7LPS a je zapojena jako Push Pull s regulovaně vypínatelnou zátěží (SRPP). Volbou zapojení je docíleno nízké výstupní impedance této sekce a schopnosti dodat požadovaný výstupní proud. SRPP býval využíván hojně v televizorech, kde řídil zátěže s velkou kapacitní zátěží. Spodní trioda slouží jako zesilovač se společnou katodou a aktivní zátěží. Horní trioda působí jako zesilovač se společnou anodou a aktivní zátěží. Z důvodu, že napájecí napětí se rozdělí na poloviny, tj. na katodě horní triody se vyskytne přibližně $100V$, je nutné vybírat elektronky tak, aby nebylo překročeno maximální dovolené napětí mezi katodou a žhavením. Elektronka 12AX7LPS může mít maximální napětí mezi katodou a žhavením $200V$, což je pro tento účel dostatečné. Kapacitní vazbou je první sekce oddělena od druhé. [17][18]

Druhou sekci tvoří elektronka EL84 zapojená jako katodový sledovač. Katodový sledovač je použit pro impedanční přizpůsobení. Díky volbě elektronky EL84 je dosaženo výstupního odporu řádově až desítek ohmů. Díky tomu lze vypustit z návrhu výstupní transformátor. Výstupní transformátor je využíván pro impedanční přizpůsobení elektronkových koncových zesilovačů. Jeho konstrukce vyžaduje, na rozdíl od běžných síťových transformátorů, zvláštní pozornost při volbě materiálu na výrobu magnetického obvodu. Z důvodu, že jsou již dnes elektronkové zesilovače vyráběny v daleko menším množství než zesilovače s polovodiči, může být výběr takového transformátoru problém a při požadavku na dodržení co nejvyšších kvalit i velká finanční zátěž. Proto jsou v návrhu použity paralelně řazené výstupní kondenzátory. Jejich nevýhodou je skutečnost, že spolu s impedancí zátěže tvoří filtr typu horní propust. Proto je nutné jejich kapacitu navrhnout s ohledem na nejnižší předpokládanou hodnotu impedance připojené zátěže. Pro zlepšení přenosu na vysokých kmitočtech je k výstupním elektrolytickým kondenzátorům připojen paralelně svitkový kondenzátor.

Z výstupu zesilovače je zavedena záporná zpětná vazba na vstup. Tou je sice potlačeno celkové zesílení, ale díky ní je dosaženo větší linearity a tudíž i nižšího zkreslení. Další výhodou zavedení záporné zpětné vazby je snížení výstupního odporu koncového zesilovače. Zpětnou vazbou je také nastaveno přesné zesílení. Je důležité, aby oba kanály měly stejné zesílení. Proto je výsledná hodnota odporů R_{VZ1} a R_{VZ2} odladěna měřením. Výsledná hodnota zkreslení je závislá na velikosti impedance zátěže a velikosti výstupního napětí.



Obr. 5.8 Graf závislosti průběhu zkreslení na výstupním výkonu a velikosti impedance zátěže

Z měření vyplývá, že při použití volby zátěže s vyšší impedancí dosahuje zkreslení nižších hodnot. Při vyšším výkonu je hladina zkreslení vyšší. Pro výkon do 50mW však není překročeno celkové zkreslení 1%. Měření bylo provedeno na prototypu. Na

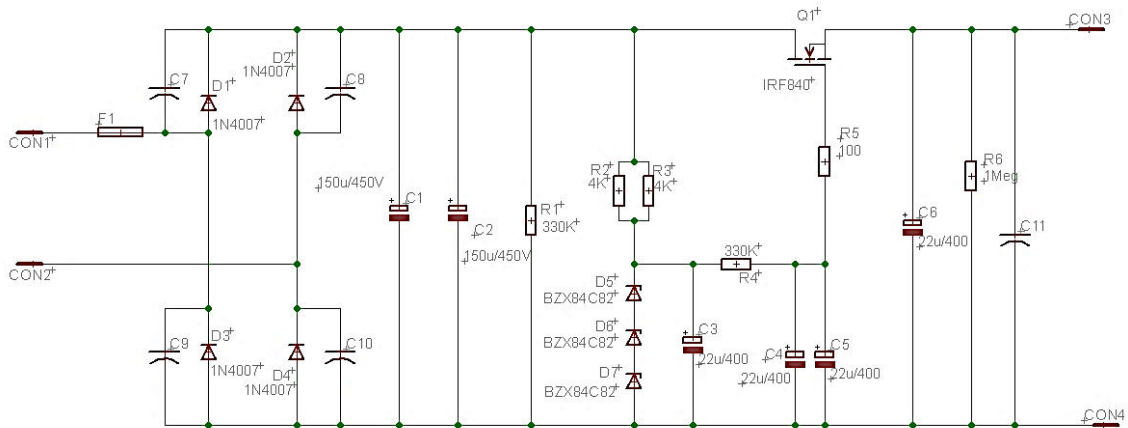
hotovém výrobku lze očekávat hodnoty lepší.

Při oživování je nutné nastavit proud katodou elektronky V2A, respektive proud anodou V2B. To se provádí vhodnou volbou odporu R11. Proud musí mít hodnotu 1mA a měří se jako úbytek napětí na rezistoru R13, kde musí být voltmetrem naměřeno 0.33V. Také je nutné nastavit stejné zesílení u obou zesilovačů. Provádí se to přivedením sinusového signálu o frekvenci 1kHz a rozkmitu napětí $1V_{rms}$ na vstup zesilovače. Na výstup je připojen zatěžovací odpor 32Ω . Zesílení se nastaví volbou odporu R_{VZ2} , odpor R_{VZ1} je zvolen v rozmezí 4k7 až 10k. Hodnotu R_{VZ2} je nutno nastavit tak aby napětí na zatěžovacím odporu bylo $1,3V_{rms}$ (tj. výkon 50mW). Zároveň je nutné na výstupu kontrolovat osciloskopem průběh napětí, zdali nedošlo k limitaci. Toto je nutné provést pro oba moduly zesilovačů.

5.3.3 Napájení zařízení

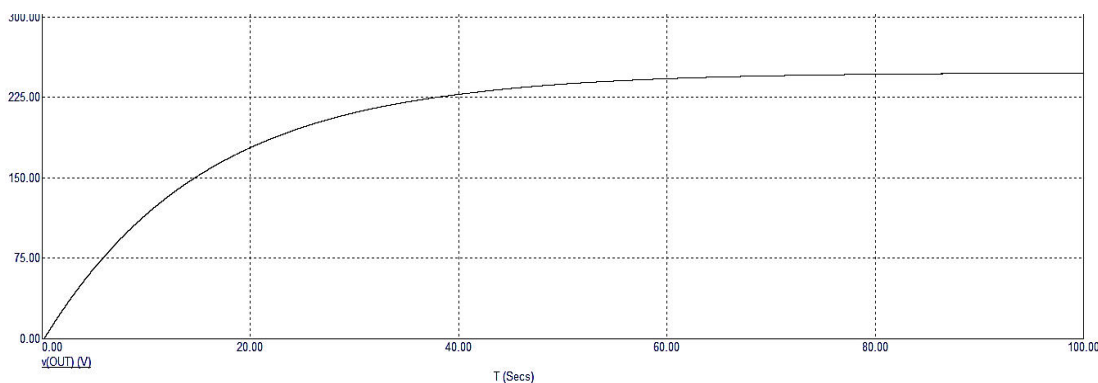
Důležitou částí analogové sekce jsou jednotlivé napájecí zdroje. Každá zmíněná část vyžaduje rozdílné napětí. Při návrhu je nutno vzít v potaz chování přístroje po zapnutí a to především u zdroje žhavení, který musí umět potlačit proudový náraz tak, aby mohlo dojít k přerušení žhavicího vlákna elektronky. U zdroje anodového napětí je nutno uvažovat jeho velmi pomalý náběh z důvodu zvýšení životnosti elektronek. Zařízení je napájeno síťovým transformátorem na 230VAC. Má 5 sekundárních vinutí, dvě pro anodové napájení, s jmenovitým napětím 190VAC/0,15A, dvě pro modul převodníku se jmenovitým napětím 8VAC/0,2A a jedno vinutí pro žhavení elektronek, s jmenovitým napětím 15VAC/2A.

Zdroj anodového napětí



Obr. 5.9 Schéma zdroje pro anodové napájení

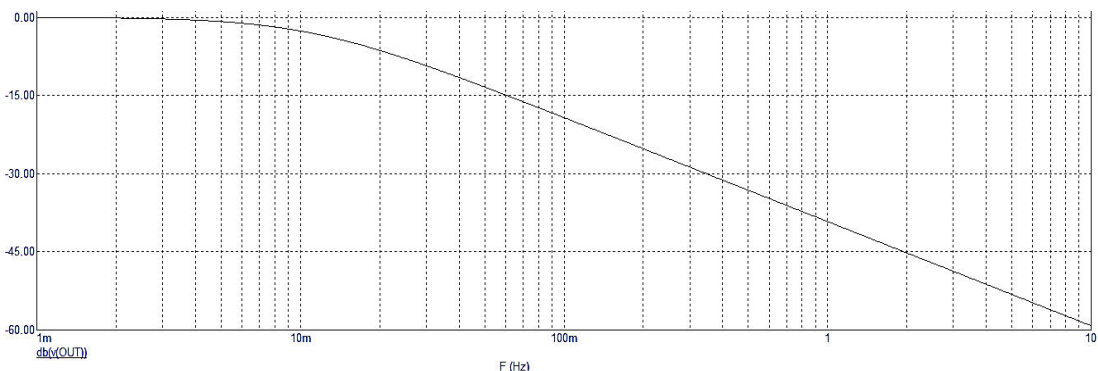
Jedná se o klasický stabilizovaný zdroj s tranzistorem. Vstupní napětí 190VAC, jištěné pojistkou F1 s jmenovitým proudem 0,16A, je usměrněno na hodnotu zhruba 270V stejnosměrných a vyhlazeno kondenzátory C1 a C2. Následuje stabilizátor pomocí stabilizačních diod D5, D6 a D7, kdy výsledné stabilizované napětí nabývá hodnoty 246V. Odpor R4 a kondenzátory C4 a C5 obstarávají dvě funkce. První funkcí je pomalý náběh výstupního napětí zdroje.



Obr. 5.10 Závislost velikosti anodového napětí na čase

Z průběhu je patrné, že nominální hodnota výstupního napětí 245V nastane až po 60s. Tím je zajištěna delší životnost elektronek, které nejsou namáhány hned po zapnutí plným napětím.

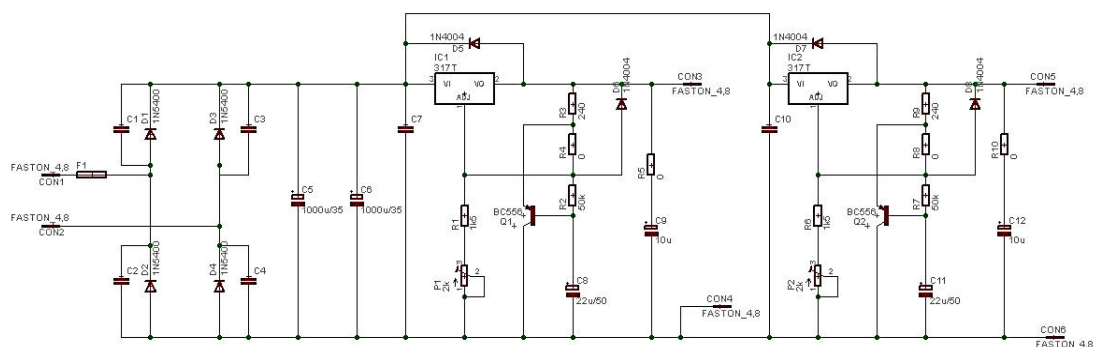
Druhou funkcí odporu R4 a kondenzátorů C4 a C5 je filtr typu dolní propust, kterým jsou potlačeny veškeré rušivé vyšší frekvence.



Obr. 5.11 Frekvenční závislost filtru R4, C4 a C5

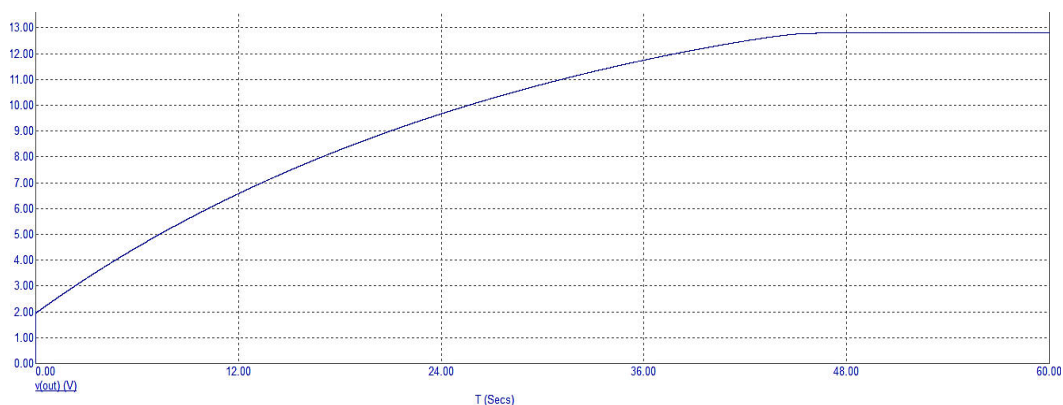
Z grafu vyplývá, že útlum 3dB nastane již při frekvenci 0,01Hz a už při frekvenci 10Hz je útlum větší než 50dB. Vyšší frekvenční složky se mohou dostat z rozvodné sítě, průchodem proudu diodami nebo rušením například z digitálního obvodu. Čím vyšší bude odstup těchto rušivých signálů na výstupu zdroje, tím bude i větší odstup rušivých složek na výstupu zesilovače a bude menší totální harmonické zkreslení THD. Výstupní proud zdroje nepřesáhne hodnotu 100mA. Při tomto proudu a rozdílu napětí na filtračních kondenzátorech a výstupních svorkách zdroje bude maximální výkonová ztráta 2,2W na tranzistoru Q1 a proto je nutné jej chladit. Je vhodné zde použít tranzistor v celo-izolovaném pouzdře, například 2SK1118 firmy Toshiba.

Zdroj pro žhavení



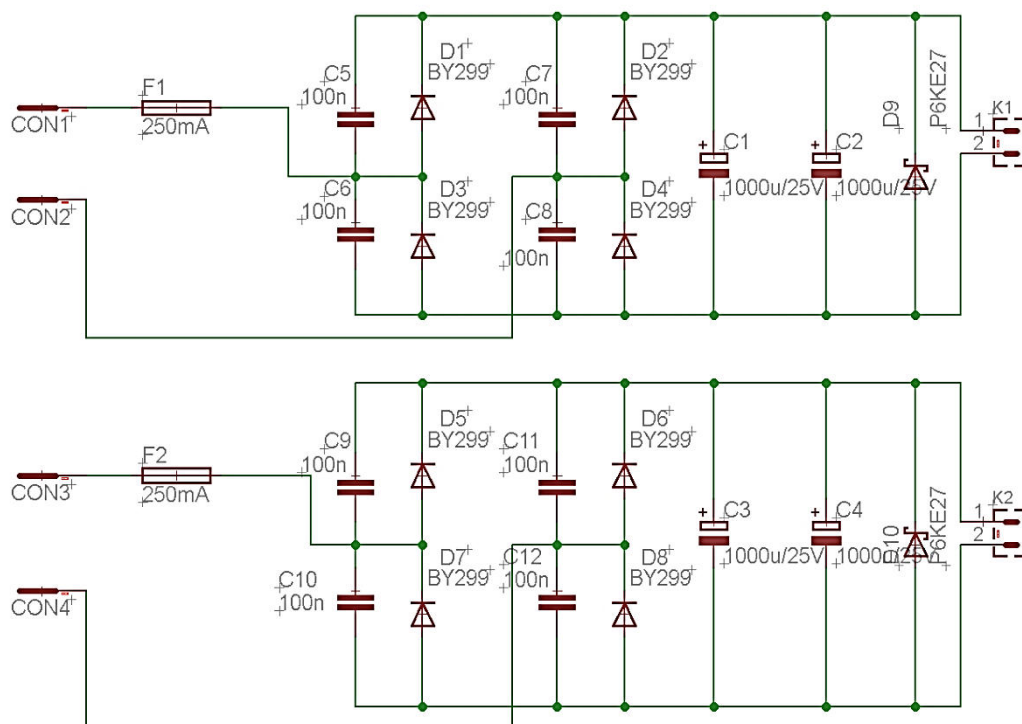
Obr. 5.12 Schéma zapojení zdrojů pro žhavení elektronek

Napětí 15VAC je přivedeno, přes pojistku F1 se jmenovitým proudem 2A, na usměrňovací můstek. Je nutno brát v potaz větší proudový odběr a tudíž zde běžné usměrňovací diody s nominálním proudem 1A nevyhoví. Vhodná dioda, která se nabízí k použití je například 1N5408, nebo třeba dioda BY255. Usměrněné napětí je vyhlazeno kondenzátory C5 a C6. Dále následují dva stabilizátory s obvodem LM317T, které jsou identické a slouží oba pro napájení žhavicích vláken elektronek. Jsou použity dva z důvodu rozložení proudu a výkonové ztráty na dva výkonové prvky. Tranzistorem Q1, respektive Q2 je zajištěn pomalý náběh zdroje. Trimmer P1 respektive P2 slouží k přesnému nastavení napětí na 12,6V



Obr. 5.13 Závislost napětí na výstupu zdroje na čase

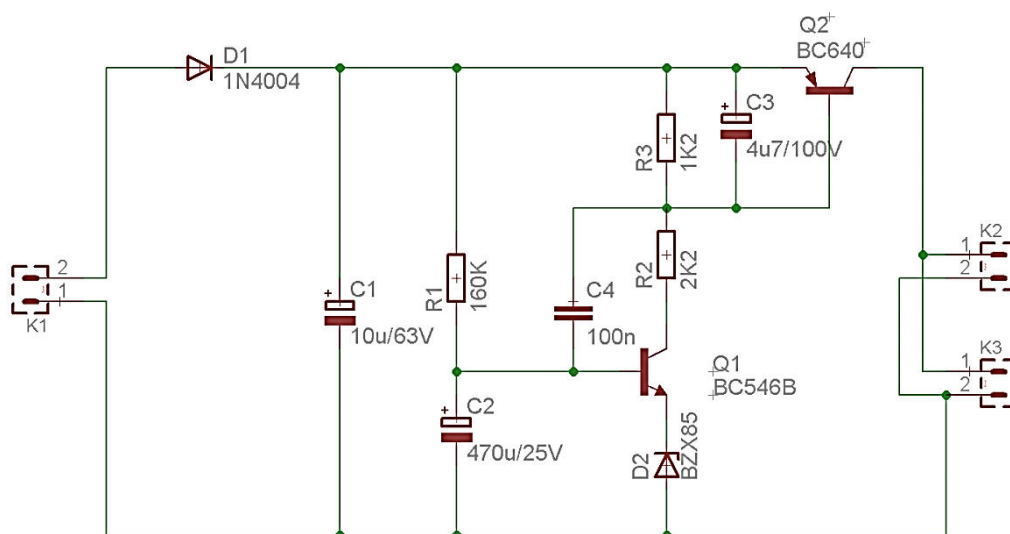
Zdroj pro modul DA převodníku



Obr. 5.14 Schéma napájecích zdrojů pro modul převodníku I2S na analog

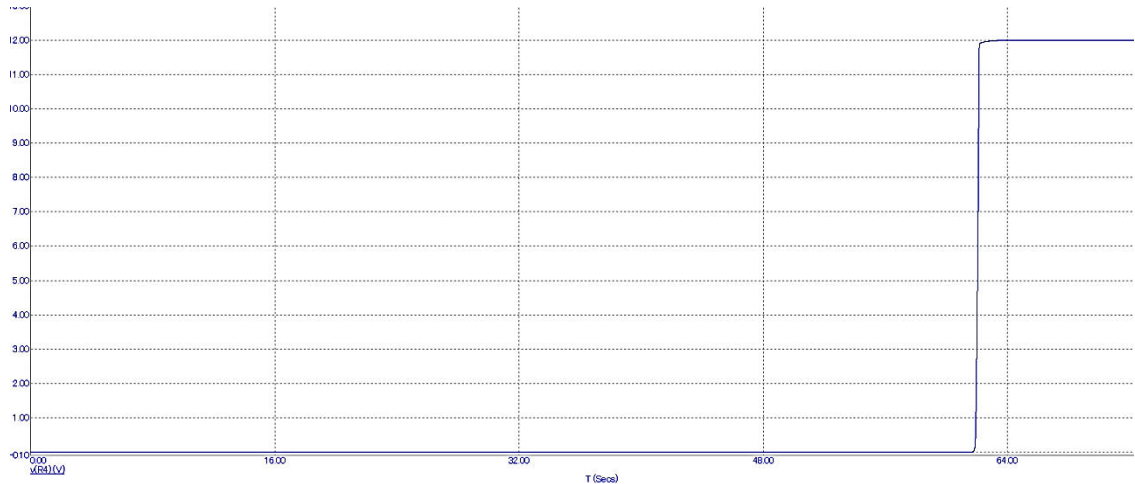
Zapojení je složeno ze dvou identických zdrojů. Každý je napájen vlastním sekundárním vinutím. Napětí je přivedeno, přes pojistku F1, respektive F2 se jmenovitým proudem 250mA, na diodový usměrňovač tvořeno a vyhlazeno kondenzátory. Diody D9, D10 jsou použity jako ochrany proti přepětí na výstupu, aby nemohlo dojít k poškození stabilizátorů na modulu DA převodníku. Diody D1 až D8 lze použít rychlé usměrňovací diody, například BY299.

Obvod pro potlačení zvuků na výstupu zesilovače při zapnutí



Obr. 5.15 Schéma zapojení obvodu pro potlačení hluku

Vstupní napětí pro tento obvod je přivedeno ze zdroje žhavení, tj. 12,6V. Odparem R1 a kondenzátorem C2 je určena časová konstanta rychlosti náběhu napětí. Po dosažení napětí na kondenzátoru C2 zhruba 6,9V je otevřen tranzistor Q1, kterým začne protékat proud, jímž je zároveň na odporech R3 a R2 docíleno úbytku napětí, důležitého pro otevření tranzistoru Q2, zapojeného jako spínač. Ke svorkám K2 a K3 jsou připojeny cívky relé na deskách výstupního zesilovače.



Obr. 5.16 Závislost napětí na cívkách připojovacích relé na čase

Z grafu lze vyčíst, že k sepnutí relé dojde za 60s od zapnutí napájení. Doba 60s je zvolena s ohledem na odeznění všech přechodných jevů v obvodě, například náběhem anodového napětí nebo žhavicího napětí.

6 ZÁVĚR

V práci byl popsán princip USB, byl vysvětlen jeho princip a popsány elektrické vlastnosti sběrnice. Také je popsán DA převod a vysvětleny základní vlastnosti DA převodníku, včetně popisu dvou základních technologií převodu. Paralelní DA a sigma-delta DA převodníků. V kapitole elektronky je vysvětlen princip elektronek a vysvětleny základní pojmy ohledně emise elektronů a konstrukce elektronek a jejich použití. Jsou diskutovány současné trendy v používání procesorů pro zpracování digitální zvukové informace. V kapitole návrhu je vytvořen návrh a obvodové řešení, které je popsáno, simulováno, případně je zhotoveno a odměřeno.

Dosažené vlastnosti:

Vzorkovací kmitočet	44.1, 48, 88.2, 96, 176.2 a 192kHz
Rozlišení převodu	16/24 bit
Vstupní rozhraní	USB 2.0, linkový vstup
Frekvenční rozsah	10 až 100kHz v toler. pásmu +/- 3dB
Maximální výkon	50mW při THD <1%, 1KHz

Odstup rušivých signálů	>90dB
Příkon přístroje	100VA
Délka inicializace přístroje	60s
Podporované operační systémy	Windows XP/Vista/7/8, Linux nativně, OS Apple nativně

Pozitivním přínosem práce je kombinace posledních trendů v elektronice spolu se staršími technologiemi, které jsou stále vyhledávány. Na obvodovém řešení je ukázáno, že lze dosáhnout poměrně solidních parametrů i za použití elektronek jako aktivních prvků. V návrhu digitální části je využito posledních poznatků pro aplikaci převodníků a využity současně dostupné součástky, díky kterým je dosaženo špičkového převodu na úrovni 24bitů se vzorkovací frekvencí až 192KHz. Díky použití více zdrojů a izolací sběrnice I²S je dosaženo velkého odstupu rušivých složek z USB převodníku.

V analogové části je dosaženo požadovaných parametrů za použití elektronek. Díky použití dané obvodové topologie, je vynechán výstupní transformátor, což se pozitivně projeví na výsledném zvuku a ceně zařízení. Velká pozornost je věnována jakosti napájecích zdrojů zařízení, díky které je dosaženo velkého odstupu rušivých složek na výstupu zesilovače. Je potlačen jak brum díky stabilizaci žhavicího napětí, tak i šum stabilizací zdroje napětí pro anody elektronek. V návrhu zdrojů je také brána v potaz nutnost potlačení proudových nárazů do studených vláken elektronek, aby nedošlo k snížení jejich životnosti. V neposlední řadě je myšleno na vliv přechodových dějů v obvodu po zapnutí přístroje, a proto je do zařízení instalováno potlačení hluků vzniklých přechodnými ději.

Z důvodu absence výstupního transformátoru je snížena celková účinnost zesilovače, kterou hodnotím jako silně podprůměrnou. Dalším plýtváním energie dochází na žhavicích vláknech elektronek. Proto takové zařízení dnes nemusí vyhovět požadavkům na ekologický provoz. Z důvodu mnohem rychlejšího opotřebování elektronek, než u polovodičů dochází k produkci nebezpečného odpadu při nutnosti jejich výměny. Dalším problémem je nutnost použití vysokého napětí pro provoz elektronek, což zvyšuje požadavky na bezpečnost a v konečném důsledku i cenu přístroje. Mimo jiné i z těchto poznatků lze učinit závěr, že je dnes použití elektronek již překonáno. Má však stále své příznivce, především pak ve sféře produkce hudby ve vysoké kvalitě a proto je stále využíváno.

LITERATURA

- [1] PALKO, Lukáš. Moderní trendy sériového rozhraní USB. *Elektrorevue.cz* [online]. 2005, 18.4.2005 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/05025/index.html>>.
- [2] ŘEHÁK, Jan. USB - Universal Serial Bus - Popis rozhraní. *Hw.cz* [online]. 2002 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/usb/usb-universal-serial-bus-popis-rozhrani.html>>.
- [3] MALÝ, Martin. USB 2.0: díl 1, díl 2. *Hw.cz* [online]. 2005 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-2.html>>.
- [4] *USB Device Class Definition for Audio Devices* [usb.org]. 1998 [cit. 1.1.2014]. Dostupné z: <<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/usb/usb-universal-serial-bus-popis-rozhrani.html>>.
- [5] HÁZE, Jiří, Radimír, VRBA, Lukáš FUJCIK a Ondřej SAJDL. FEKT, VUT v Brně. Teorie vzájemného převodu analogového a číslicového signálu [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <https://www.umel.feec.vutbr.cz/MTVP/prednasky/AD_DA_scripta.pdf>.
- [6] kolektiv autorů. *Tranzistorový zvuk* [online]. 8. 7. 2009(asi takto když na začátku to máš jinak 2009, 8.7. [cit. 6. 12. 2009]. Dostupné na internetu (z:): <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tranzistorov%C3%BD_zvuk>.
- [7] BOUŠEK, Jaroslav. *Vakuové součástky* [online]. FEKT, VUT v Brně, 2005 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <<http://www.umel.feec.vutbr.cz/~bousek/eso/kap10skr.pdf>>.
- [8] TEXAS INSTRUMENTS. *PCM270x: STEREO AUDIO DAC WITH USB INTERFACE* [ti.com]. 2003 [cit. 1.1.2014]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm2706.pdf>>.
- [9] GALAXY FAR EAST CORPORATION. *TE 7022L: USB 2.0 Full-Speed* [gfec.com]. 2001 [cit. 1.1.2014]. Dostupné z: <http://www.gfec.com.tw/documents/10157/11043/TE7022SL_PB-v21.pdf>.
- [10] Cmedia: Datasheet. In: *CM6631* [online]. 2008 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.wakamatsu-net.com/biz/cm6631_datasheet_v0-8.pdf>
- [11] Datasheet: Texas Instruments. In: *OPA1612* [online]. 2009 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <<http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/opa1611.pdf>>
- [12] Datasheet: Texas Instruments. In: *OPA827* [online]. 2004 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <<http://www.ti.com/lit/ds/sbos376h/sbos376h.pdf>>
- [13] XMOS. *XS1-U6A-64-FB96 Datasheet* [xmos.com]. 2013 [cit. 1.1.2014]. Dostupné z: <<http://www.xmos.com/download/public/XS1-U6A-64-FB96-Datasheet%28X4761D%29.pdf>>.
- [14] *XMOS 384kHz high-quality USB to I2S PCB with ultralow noise 6.5uV regulator* [online]. 2013 [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <<http://www.diyinhk.com/shop/home/18-xmos-384khz-high-quality-usb-to-i2s-pcb-with-ultralow-noise-65uv-regulator.html>>.
- [15] WM8740 24-BIT, High Performance 192kHz Stereo DAC WOLFSON MICROELECTRONICS. *WM8740: 24-bit, High Performance 192kHz Stereo DAC* [wolfsonmicro.com]. 2010 [cit. 1.1.2014]. Dostupné z:

- <http://www.wolfsonmicro.com/documents/uploads/data_sheets/en/WM8740.pdf>.
- [16] Broskie Cathode Follower 2. In: *BCF-2* [online]. 2012 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.tubecad.com/2012/05/blog0229.htm>
- [17] [Http://www.valvewizard.co.uk](http://www.valvewizard.co.uk). *The Shunt Regulated Push-Pull (SRPP)* [online]. 2014 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.valvewizard.co.uk/srpp.html>
- [18] Datasheet. In: *12AX7 LPS* [online]. 2014 [cit. 2014-06-01]. Dostupné z: <http://www.svetlana.com/pdf/sovtek/12ax7lps-sovtek.pdf>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

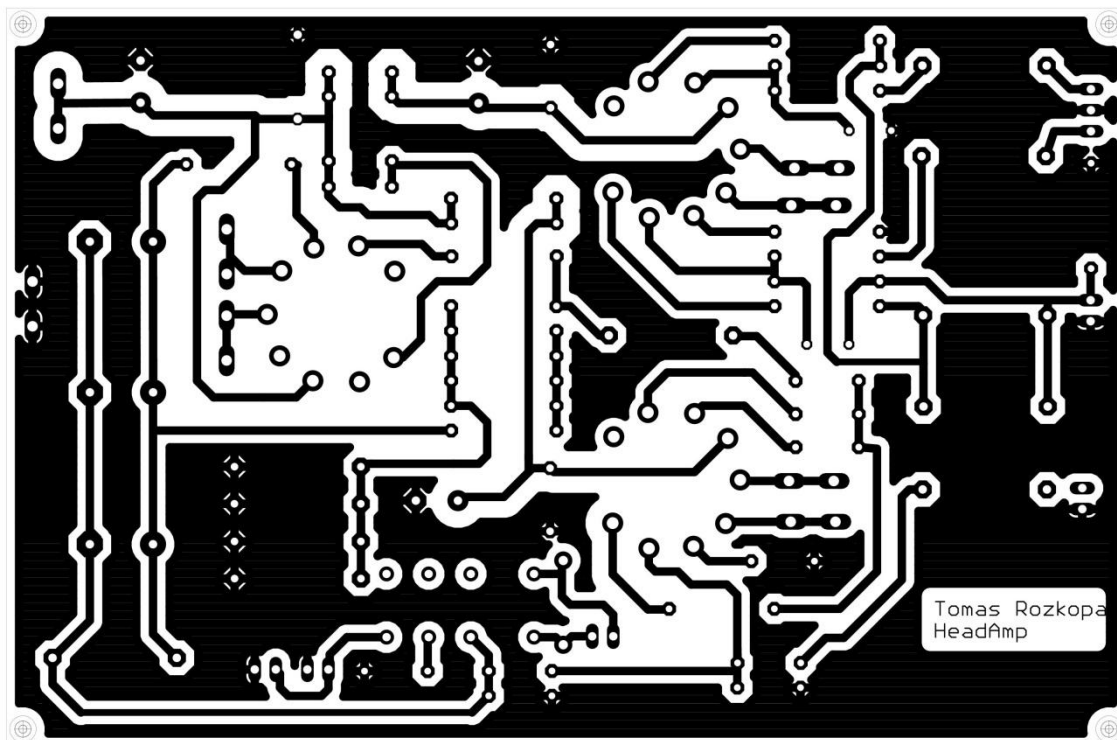
DA	Digitálně/analogový
DNL	Differential NonLinearity
DMA	Direct Memory acces
f_s	Vzorkovaný kmitočet
f_{VZ}	Vzorkovací kmitočet
USB	Universal Seriál Bus
Gbps	Gigabits per second
GND	Ground
INL	Integral NonLinearity
I_{MAX}	Maximální proud
IRQ	Interupt ReQuest
m	metr
mA	miliampér
Mbps	Megabits per second
P_{MAX}	Maximální napětí
Ppm	parts per milion
T	Teplota
THD	Total Harmonic Distortion
UAC	USB Audio Class
U_{MAX}	Maximální napětí
V	Volt
VAC	Střídavé napětí
VDC	Stejnoseměrné napětí
V_{rms}	Efektivni hodnota napětí
Z	Impedance

SEZNAM PŘÍLOH

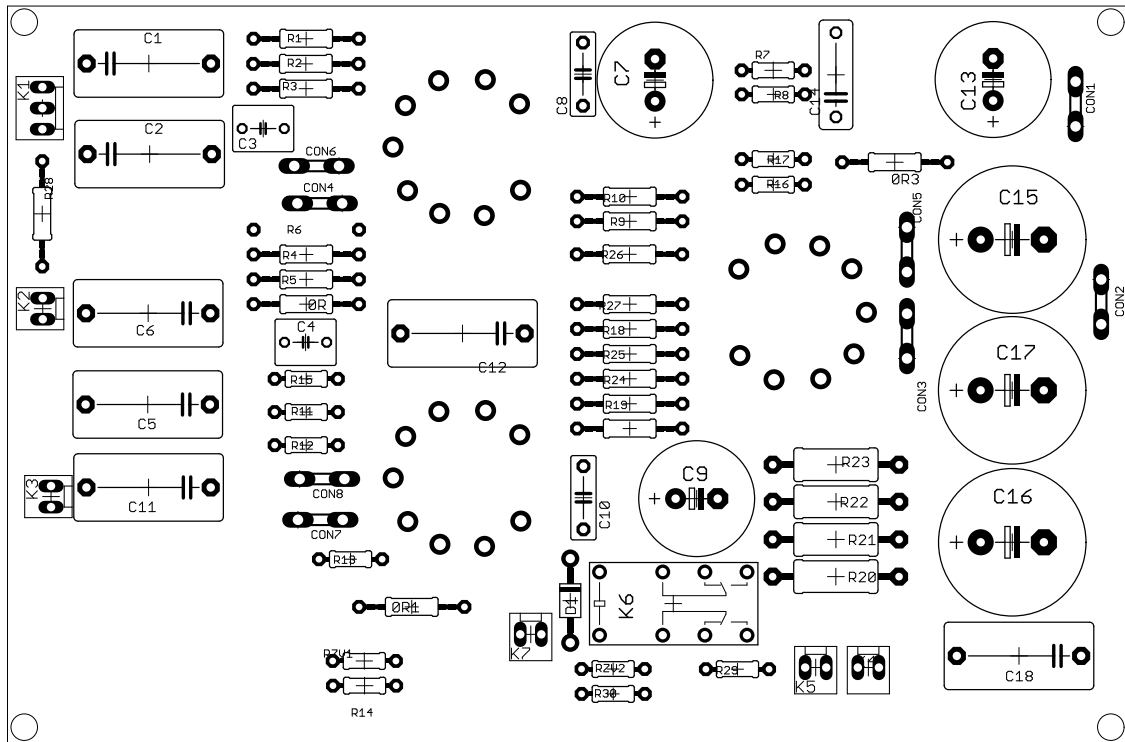
A.1	Návrh DPS pro zesilovač a dolní propust.....	47
A.2	Osazovací plán zesilovače vrstva TOP	48
A.3	Osazovací plán zesilovače vrstva BOTTOM.....	49
A.4	Rozpis použitých součástek v modulu zesilovače	49
A.5	Návrh DPS pro modul DAC	51
A.6	Osazovací plán DAC vrstva TOP	52
A.7	Osazovací plán DAC vrstva BOTTOM.....	52
A.8	Rozpis součástek použitých v modulu DAC	52
A.9	Návrh DPS pro zdroj anodového napětí	54
A.10	Osazovací plán zdroje anodového napětí vrstva TOP	54
A.11	Rozpis součástek zdroje anodového napětí	54
A.12	Návrh DPS pro zdroj žhavicího napětí	56
A.13	Osazovací plán pro zdroj žhavicího napětí vrstva TOP.....	56
A.14	Rozpis součástek použitých v modulu zdroje žhavení	57
A.15	Návrh DPS pro zdroj napájení modulu DAC	58
A.16	Osazovací plán zdroje modulu DAC	59
A.17	Rozpis součástek zdroje pro modul DAC.....	59
A.18	Návrh DPS pro modul potlačení hluku při zapnutí.....	60
A.19	Osazovací plán pro modul potlačení hluku, vrstva TOP	61
A.20	Rozpis součástek pro modul potlačení hluku	61
A.21	Návrh DPS modulu řízení hlasitosti a přepínání vstupů.....	62
A.22	Osazovací plán modulu přepínání vstupů	62
A.23	Schéma zapojení modulu přepínání vstupů	63
A.24	Rozpis součástek pro modul přepínání vstupů	63
A.25	Schéma zapojení modulu DAC ve velkém rozlišení	65

A OBVODOVÁ REALIZACE

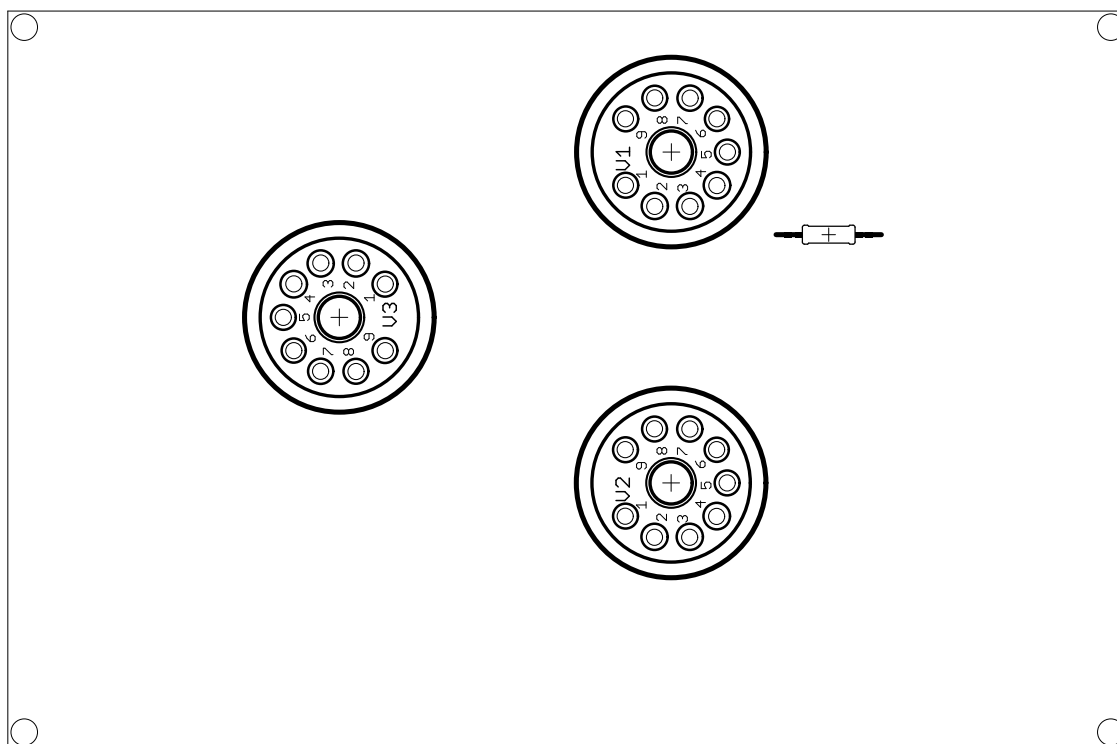
A.1 Návrh DPS pro zesilovač a dolní propust



A.2 Osazovací plán zesilovače vrstva TOP



A.3 Osazovací plán zesilovače vrstva BOTTOM



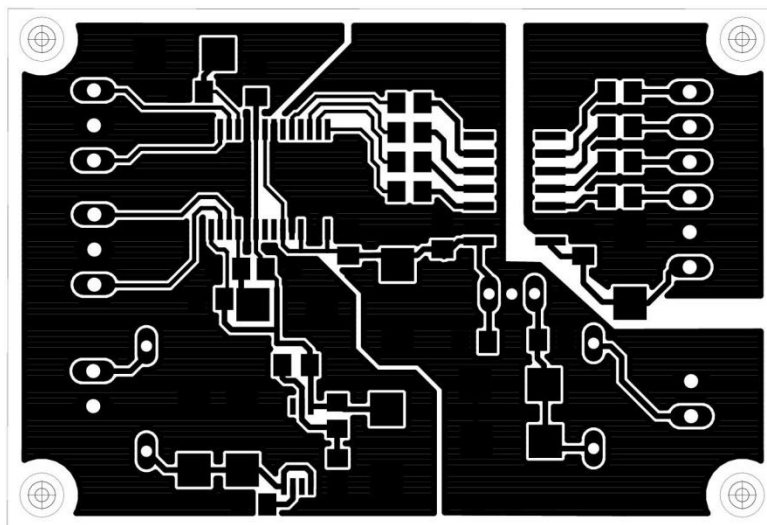
A.4 Rozpis použitých součástek v modulu zesilovače

Rezistory				
Označení	Hodnota	Pouzdro/Typ	Doplň. údaj	Výrobce
R1	520	0207/1%		Vishay
R2	10k	0207/1%		Vishay
R3	10k	0207/1%		Vishay
R4	10k	0207/1%		Vishay
R5	10k	0207/1%		Vishay
R6	520	0207/1%		Vishay
R7	100k	0207/1%		Vishay
R8	100k	0207/1%		Vishay
R9	100k	0207/1%		Vishay
R10	100k	0207/1%		Vishay
R11	3k3	0207/1%	Viz text	Vishay
R12	100	0207/1%		Vishay
R13	330	0207/1%		Vishay
R14	100k	0207/1%		Vishay

R15	10R	0207/1%		Vishay
R16	2k	0207/1%		Vishay
R17	2k	0207/1%		Vishay
R18	330	0207/1%		Vishay
R19	330	0207/1%		Vishay
R20	4k7	0411/1% 1W		Vishay
R21	4k7	0411/1% 1W		Vishay
R22	4k7	0411/1% 1W		Vishay
R23	4k7	0411/1% 1W		Vishay
R24	330	0207/1%		Vishay
R25	330	0207/1%		Vishay
R26	1k	0207/1%		Vishay
R27	220k	0207/1%		Vishay
R28	1M	0207/1%		Vishay
R29	100	0207/1%		Vishay
R30	22k	0207/1%		Vishay
RVZ1	10k	0207/1%	viz text	Vishay
RVZ2	10k	0207/1%	viz text	Vishay
0R	0R	0207/1%		Vishay
Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C2	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C3	100pF/400	Svitkový	C050-055X075	Wima
C4	100pF/400	Svitkový	C050-055X075	Wima
C5	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C6	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C7	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C8	0,1u/250	Svitkový	C075-032X103	Wima
C9	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C10	0,1u/250	Svitkový	C075-032X103	Wima
C11	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C12	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima
C13	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C14	0,1u/250	Svitkový	C075-032X103	Wima
C15	100u/400V	Elektrolytický	E7,5-18	Nippon Chemicon
C16	100u/400V	Elektrolytický	E7,5-18	Nippon Chemicon
C17	100u/400V	Elektrolytický	E7,5-18	Nippon Chemicon
C18	1u/250V	Svitkový	C150-084X183	Wima

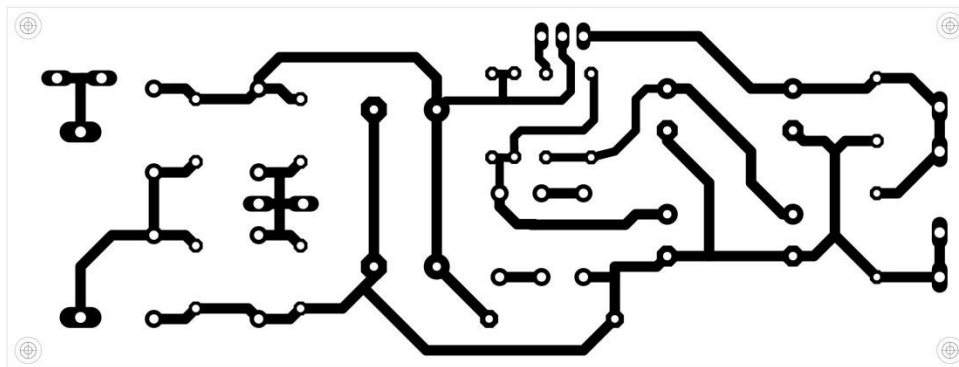
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	1N4007		DO41	Vishay
Elektronky				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
V1	12AX7LPS	Dvojitá trioda	Noval	Sovtek
V2	12AX7LPS	Dvojitá trioda	Noval	Sovtek
V3	EL84	Pentoda	Noval	Sovtek
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
K1	PSH02-03P			
K2 až K5, K7	PSH02-02P			
K6	RY12W-K			Takamisawa
CON1 až CON8	FASTON_4,8		RM4.8	

A.5 Návrh DPS pro modul DAC

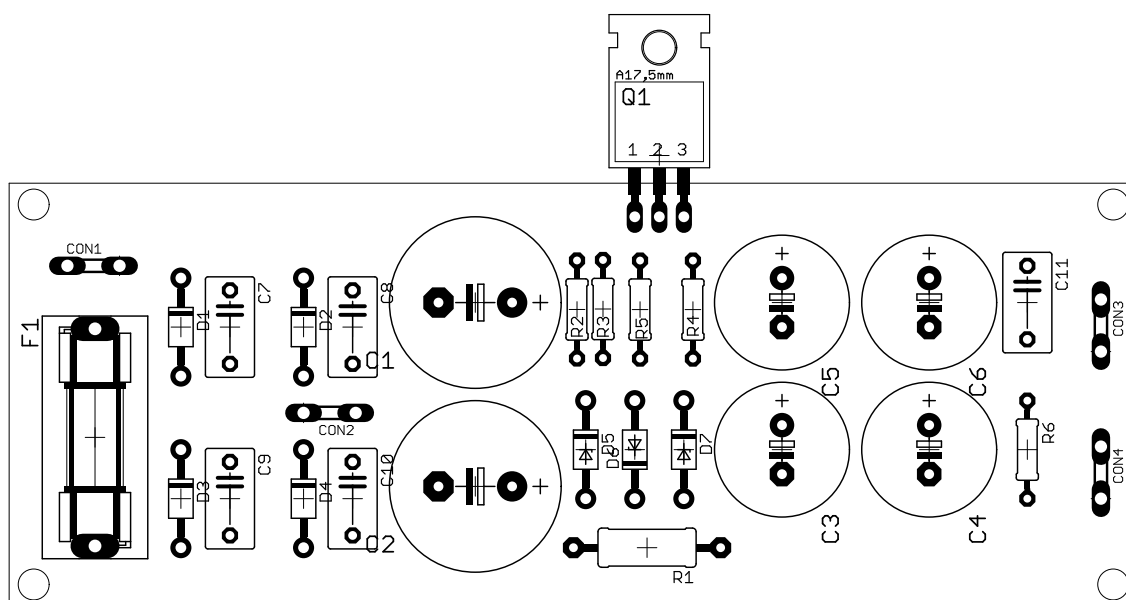


R7	68R	R0805		Vishay
R8	68R	R0805		Vishay
R9	39k	R0805		Vishay
R10	12k	R0805		Vishay
Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	100n	Keramický	C0805K	
C2	100n	Keramický	C0805K	
C3	100n	Keramický	C0805K	
C4	100n	Keramický	C0805K	
C5	100n	Keramický	C0805K	
C6	100n	Keramický	C0805K	
C7	100n	Keramický	C0805K	
C8	100n	Keramický	C0805K	
C9	100n	Keramický	C0805K	
C10	100n	Keramický	C0805K	
C11	10u	Tantal	SMC_C	
C12	10u	Tantal	SMC_C	
C13	10u	Tantal	SMC_C	
C14	4u7	Tantal	SMC_C	
C15	4u7	Tantal	SMC_C	
C16	4u7	Tantal	SMC_C	
C17	4u7	Tantal	SMC_C	
C18	4u7	Tantal	SMC_C	
C19	10n	Keramický	C0805K	
C20	10u	Tantal	SMC_C	
C21	10n	Keramický	C0805K	
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	1N4007		DO41	Vishay
IC2	78L05			Texas Instruments
U\$1	IL715		SO16	NVE Corporation
U\$2	WM8740		SSOP28	Wolfson Microelectronics
U\$3	TPS7A4901		R-PDSO-G08	Texas Instruments
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
+10VA, +10VD	PSH02-02P			
OUTL, OUTF	PSH02-03P			
I2SIN	PSH02-06P			

A.9 Návrh DPS pro zdroj anodového napětí



A.10 Osazovací plán zdroje anodového napětí vrstva TOP

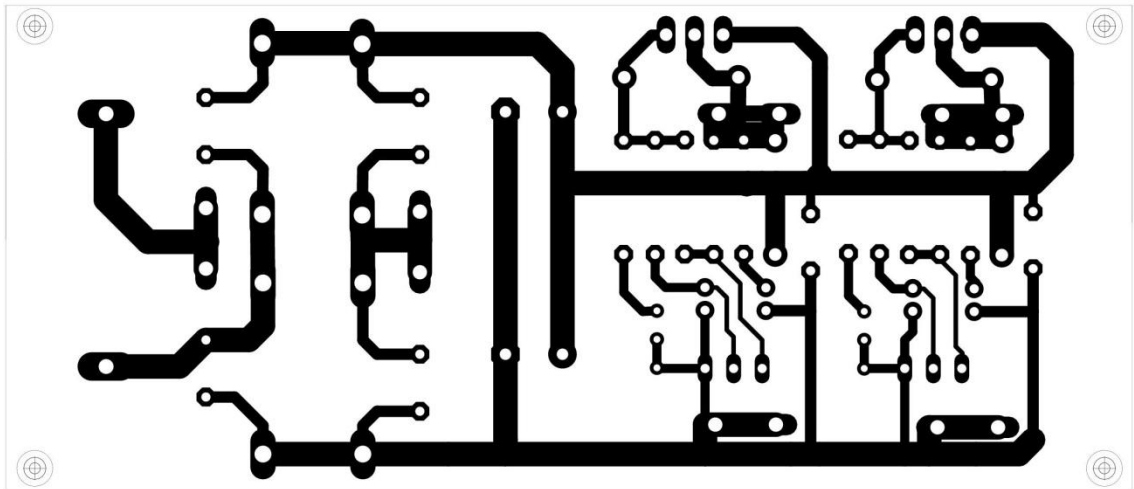


A.11 Rozpis součástek zdroje anodového napětí

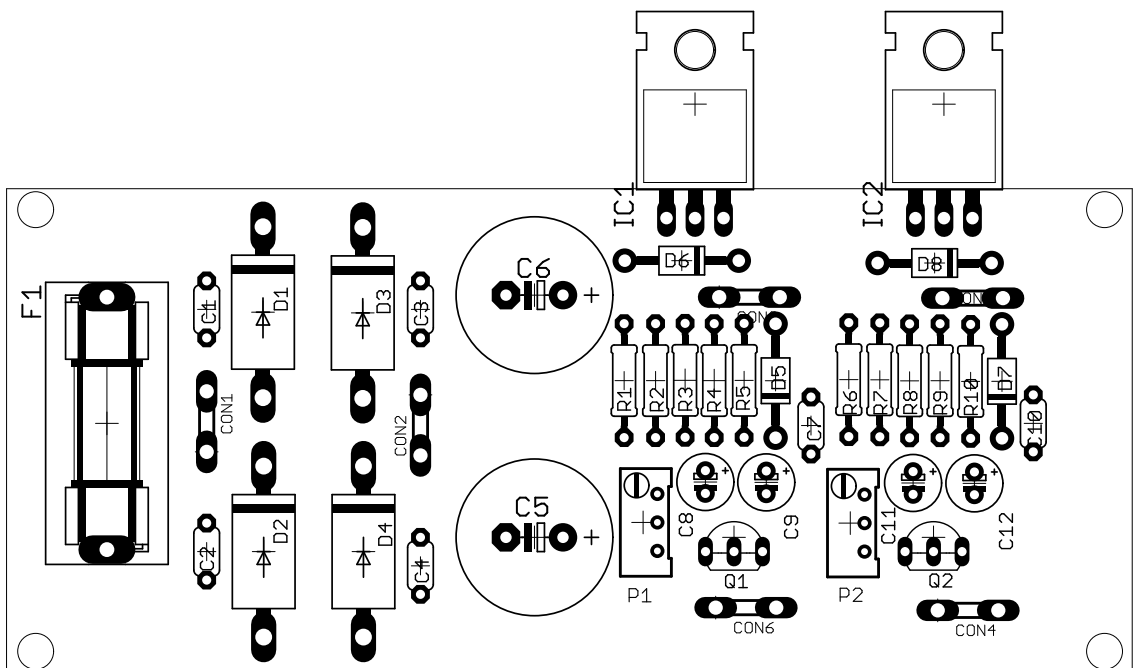
Rezistory				
Označení	Hodnota	Pouzdro/Typ	Doplň. údaj	Výrobce
R1	330k	0411/1%		Vishay
R2	4k	0207/1%		Vishay
R3	4k	0207/1%		Vishay
R4	330k	0207/1%		Vishay
R5	100	0207/1%		Vishay
R6	1M	0207/1%		Vishay

Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	150u/450V	Elektrolytický	E7,5-18	Nippon Chemicon
C2	150u/450V	Elektrolytický	E7,5-18	Nippon Chemicon
C3	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C4	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C5	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C6	22u/400	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C7	100n/400V	Svitkový	C075-052X106	
C8	100n/400V	Svitkový	C075-052X106	
C9	100n/400V	Svitkový	C075-052X106	
C10	100n/400V	Svitkový	C075-052X106	
C11	100n/400V	Svitkový	C075-052X106	
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	1N4007		DO41	Vishay
D1	1N4007		DO41	Vishay
D1	1N4007		DO41	Vishay
D1	1N4007		DO41	Vishay
Q1	IRF840/2SK1118		TO220	STMicroelectronics, Toshiba
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
CON1 až CON4	FASTON_4,8			
F1	PSH02-03P	160mA	SH22,5A	

A.12 Návrh DPS pro zdroj žhavicího napětí



A.13 Osazovací plán pro zdroj žhavicího napětí vrstva TOP

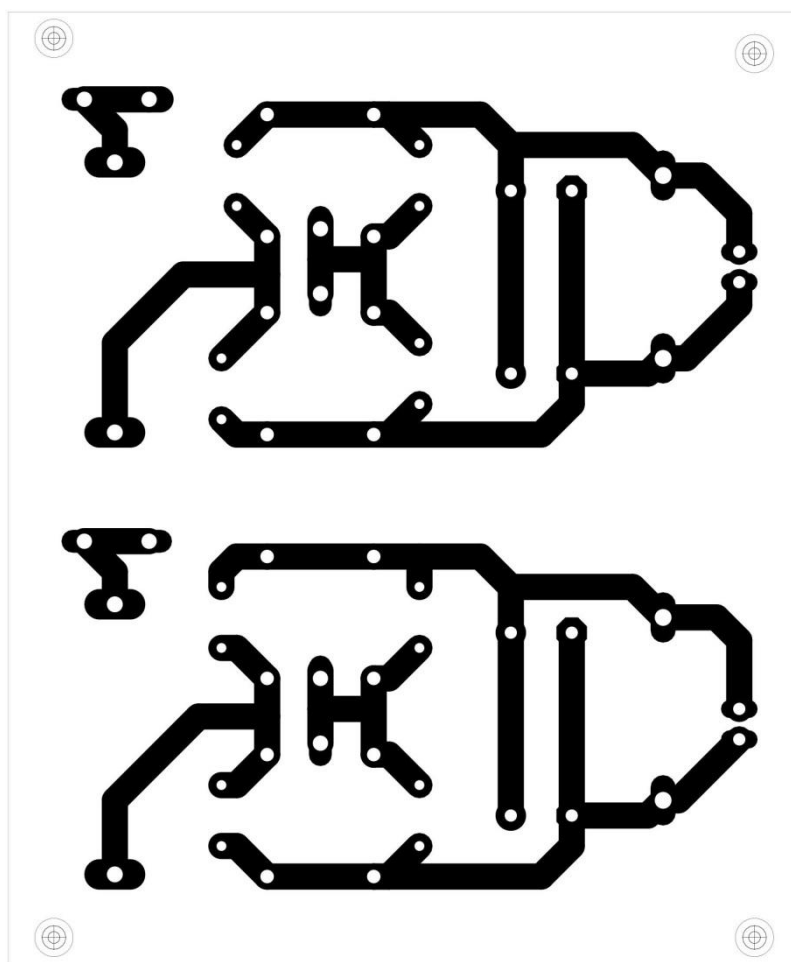


A.14 Rozpis součástek použitých v modulu zdroje žhavení

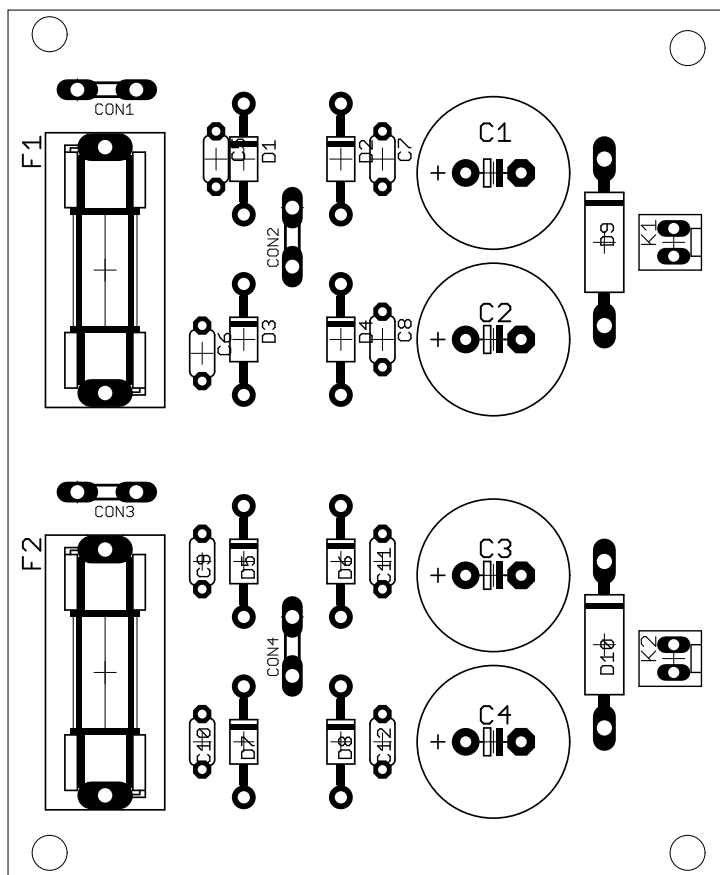
Rezistory				
Označení	Hodnota	Pouzdro/Typ	Doplň. údaj	Výrobce
R1	1k5	0207/1%		Vishay
R2	50k	0207/1%		Vishay
R3	240	0207/1%		Vishay
R4	0R	0207/1%		Vishay
R5	0R	0207/1%		Vishay
R6	1k5	0207/1%		Vishay
R7	50k	0207/1%		Vishay
R8	0R	0207/1%		Vishay
R9	240R	0207/1%		Vishay
R10	0R	0207/1%		Vishay
P1	1k	RTRIM64W	Multiturn	Vishay
P2	1K	RTRIM64W	Multiturn	Vishay
Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	100p	Keramický	C050-024X044	
C2	100p	Keramický	C050-024X044	
C3	100p	Keramický	C050-024X044	
C4	100p	Keramický	C050-024X044	
C5	1000u/35	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C6	1000u/35	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C7	100n	Keramický	C050-024X044	
C8	22u/50V	Elektrolytický	E2-5	Nippon Chemicon
C9	10u/63V	Elektrolytický	E2-5	Nippon Chemicon
C10	100n	Keramický	C050-024X044	
C11	22u/50V	Elektrolytický	E2-5	Nippon Chemicon
C12	10u/63V	Elektrolytický	E2-5	Nippon Chemicon
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	1N4007		DO41	Vishay
D2	1N4007		DO41	Vishay
D3	1N4007		DO41	Vishay
D4	1N4007		DO41	Vishay
D5	1N4007		DO41	Vishay
D6	1N4007		DO41	Vishay
D7	1N4007		DO41	Vishay

D8	1N4007		DO41	Vishay
IC1	LM317T		TO220H	Texas Instruments
IC2	LM317T		TO220H	Texas Instruments
Q1	BC556B		TO92-EBC	ON Semiconductor
Q2	BC556B		TO92-EBC	ON Semiconductor
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
CON1 až CON6	FASTON_4,8			

A.15 Návrh DPS pro zdroj napájení modulu DAC



A.16 Osazovací plán zdroje modulu DAC

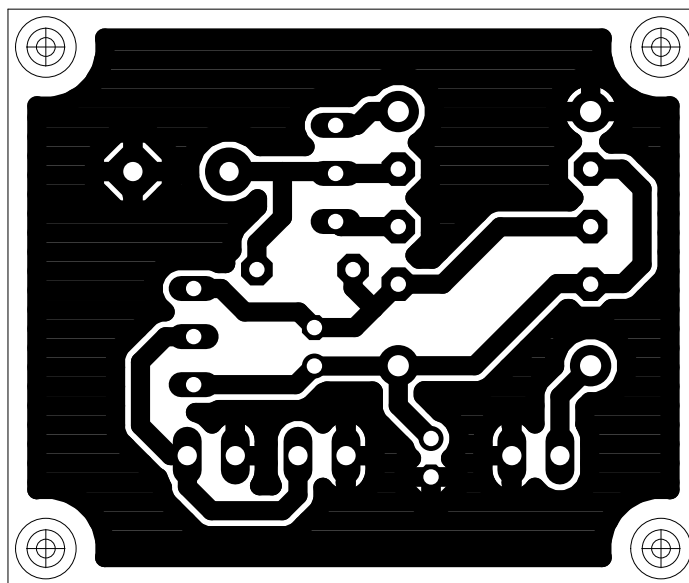


A.17 Rozpis součástek zdroje pro modul DAC

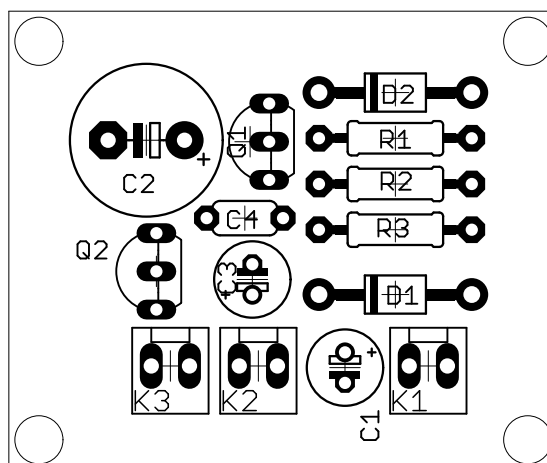
Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	1000u/25V	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C2	1000u/25V	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C3	1000u/25V	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C4	1000u/25V	Elektrolytický	E5-13	Nippon Chemicon
C5	100n	Keramický	C050-024X044	
C6	100n	Keramický	C050-024X044	
C7	100n	Keramický	C050-024X044	
C8	100n	Keramický	C050-024X044	
C9	100n	Keramický	C050-024X044	

C10	100n	Keramický	C050-024X044	
C11	100n	Keramický	C050-024X044	
C12	100n	Keramický	C050-024X044	
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D1	BY299		DO41	Diotec Semiconductor
D9	P6KE-22	Transil	C1702-15	Fairchild
D10	P6KE-22	Transil	C1702-15	Fairchild
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
K1,K2	PSH02-02P			
CON1 až CON4	FASTON_4,8			
F1, F2		250mA	SH22,5A	

A.18 Návrh DPS pro modul potlačení hluku při zapnutí



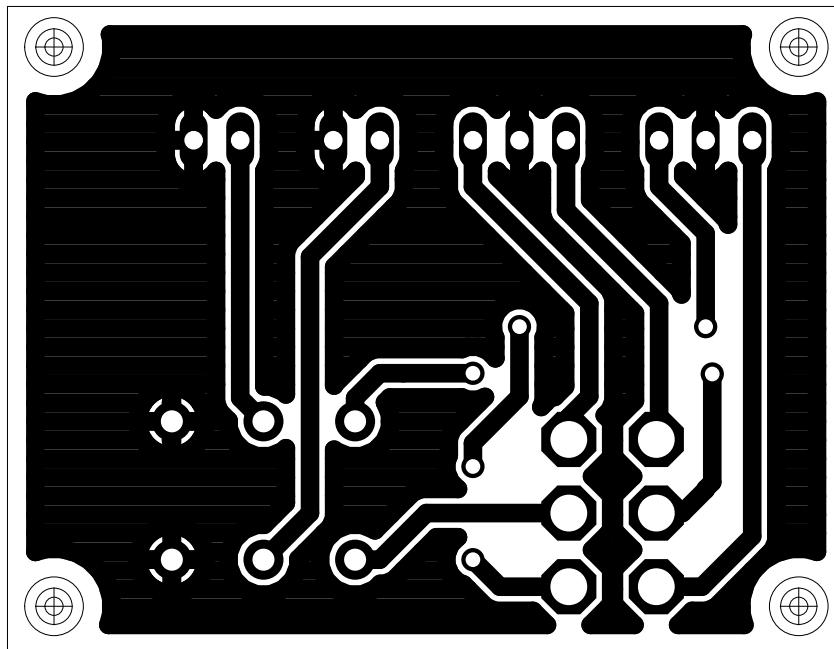
A.19 Osazovací plán pro modul potlačení hluku, vrstva TOP



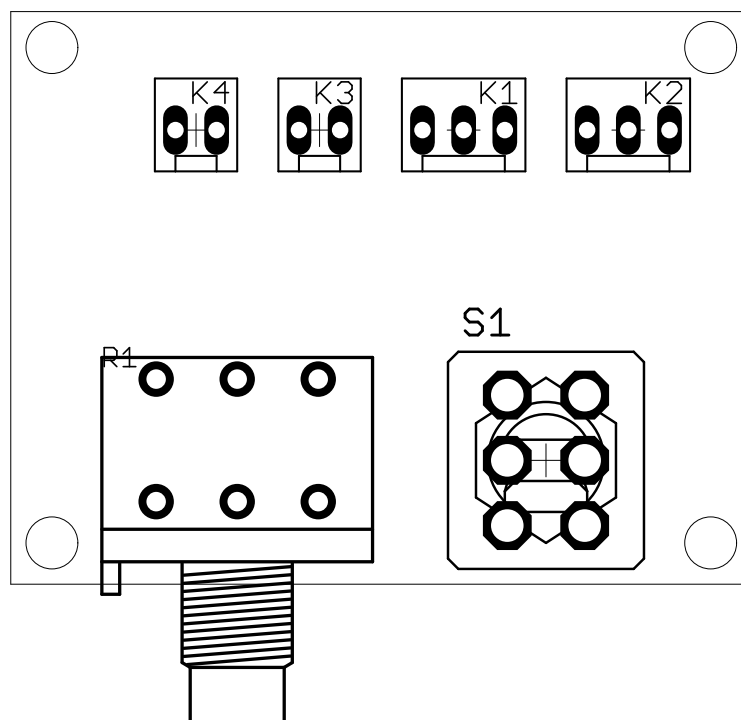
A.20 Rozpis součástek pro modul potlačení hluku

Rezistory				
Označení	Hodnota	Pouzdro/Typ	Doplň. údaj	Výrobce
R1	160k	0207/1%		Vishay
R2	2k2	0207/1%		Vishay
R3	1k2	0207/1%		Vishay
Kondenzátory				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
C1	10u/63V	Elektrolytický	C050-024X044	Nippon Chemicon
C2	470u/63V	Elektrolytický	C050-024X044	Nippon Chemicon
C3	4u7/100V	Elektrolytický	C050-024X044	Nippon Chemicon
C4	100n	Keramický	C050-024X044	
Polovodiče				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
D1	1N4007		DO41	Vishay
D2	BZX84C6V2	stabilizační	DO41Z10	
Q1	BC546B		TO92-EBC	ON Semiconductor
Q2	BC640		TO92-EBC	ON Semiconductor
Ostatní				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
K1, K2, K3	PSH02-02P			

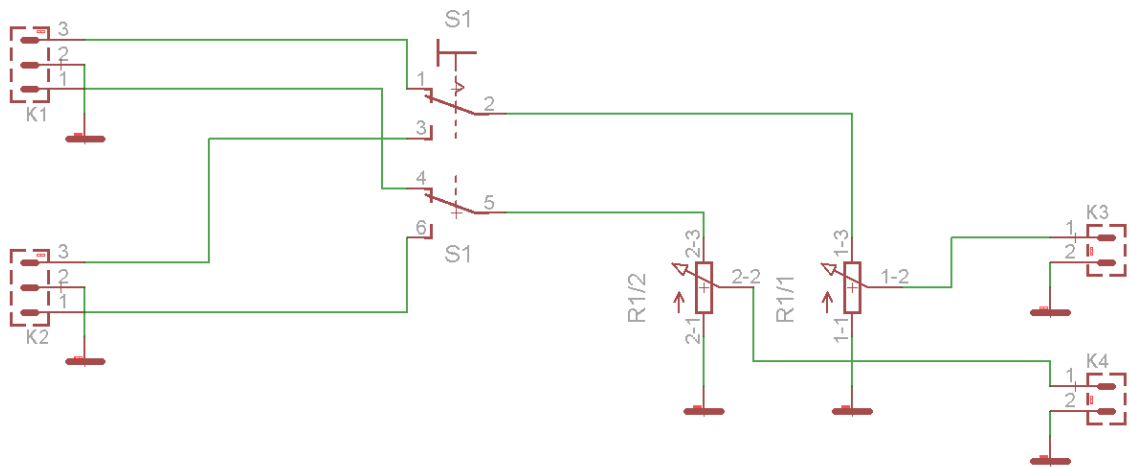
A.21 Návrh DPS modulu řízení hlasitosti a přepínání vstupů



A.22 Osazovací plán modulu přepínání vstupů



A.23 Schéma zapojení modulu přepínání vstupů



A.24 Rozpis součástek pro modul přepínání vstupů

Součástky				
Označení	Hodnota	Typ	pouzdro	Výrobce
K1, K2	PSH02-02P			
K3, K4	PSH02-03P			
S1		MTS500VFT		
R1	20k/L	P4S-LOG		

A.25 Schéma zapojení modulu DAC ve velkém rozlišení

