

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

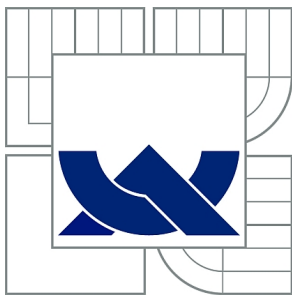
MIXÁŽNÍ NÍZKOFREKVENČNÍ PULT PRO LABORATORNÍ VÝUKU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

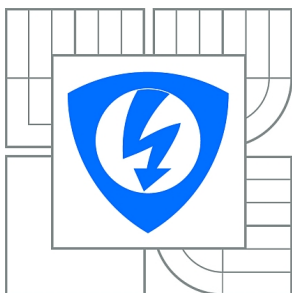
LADISLAV KALINA

BRNO 2015



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **MIXÁŽNÍ NÍZKOFREKVENČNÍ PULT PRO LABORATORNÍ VÝUKU**

AUDIO MIXER USED FOR LABORATORY MEASUREMENTS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**LADISLAV KALINA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. TOMÁŠ KRATOCHVÍL, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Elektronika a sdělovací technika

**Student:** Ladislav Kalina

**ID:** 154756

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Mixážní nízkofrekvenční pult pro laboratorní výuku**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete koncepci a obvodové zapojení laboratorního přípravku mixážního pultu pro předmět Nízkofrekvenční a audio elektronika. Přepokládejte alespoň 4 symetrické mikrofonní vstupy s XLR konektory a 4 monofonní linkové vstupy, integrovaný sluchátkový zesilovač a nízkošumové konstrukční provedení aktivních prvků. Přípravek by měl umožňovat základní měření amplitudové frekvenční charakteristiky, řízení zisku jednotlivých vstupů i výstupů, přeslechu kanálů a odstupu rušivých napětí, harmonického zkreslení apod.

V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek atd.). Mixážní pult realizujte formou funkčního laboratorního přípravku, jehož správnou činnost ověřte měřeními. Navrhnete samostatnou laboratorní úlohu, pro kterou vytvořte kompletní zadání a vzorový protokol o měření.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

[2] METZLER, B. Audio Measurement Handbook. Beaverton: Audio Precision, Inc., 1993.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*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**

Bakalářská práce se zabývá rozbořem mixážního pultu a jeho návrhu. V několika kapitolách postupně popisuje jednotlivé bloky návrhu. V první části se zabývá popisem mixážního pultu. Následně pokračuje návrhem jednotlivých zapojení (předzesilovač, ekvalizér). V druhé polovině dokumentu se nachází návrh jednotlivých desek plošných spojů a jejich následné měření a ověřování funkčnosti. Dokument také obsahuje návrh šasi celého mixážního pultu. Obsahuje i grafické zpracování ovládacího panelu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Předzesilovač, audio transformátor, ekvalizér, frekvenční analýza, channel strip.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with an analysis of the mixing console and its design. In several chapters are describes each parts of design. First part is focused on describing of mixing console, thereafter moving on the design each circuit such as preamplifier and equalizer. The second part contains design of printed circuit board and also measurement and testing those PCBs. This paper also including concept of chassis of whole device. Also contains graphic design of control panel.

## **KEYWORDS**

Preamplifier, audio transformer, equalizer, frequency analysis, channel strip.

KALINA L. *Mixážní nízkofrekvenční pult pro laboratorní výuku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2014. 120 s., 87 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Mixážní nízkofrekvenční pult pro laboratorní výuku 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 doc. Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>vi</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>viii</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Základní popis MP</b>	<b>2</b>
<b>2 Návrh Mixážního pultu</b>	<b>5</b>
2.1 Výběr aktivních součástek .....	5
2.1.1 Rychlost přeběhu .....	6
2.1.2 Čas ustálení .....	7
2.1.3 Šum .....	7
2.1.4 Harmonické zkreslení .....	8
2.2 Obvodová zapojení mikrofonních vstupů.....	9
2.2.1 1. Kanál podle vzoru Allen & Heat GL2200 .....	9
2.2.2 2. Kanál s předzesilovačem AD797.....	9
2.2.3 3. Kanál s diskrétním předzesilovačem .....	10
2.2.4 4. Kanál s SSM2019 .....	10
2.3 Obvodová zapojení stereo vstupů.....	11
2.3.1 5./6. Kanál s TDA1524 .....	11
2.3.2 7./8. Kanál s LM1036 .....	12
2.4 Návrh pomocných obvodů.....	13
2.4.1 Součtový zesilovač .....	13
2.4.2 Sluchátkový zesilovač s TDA152.....	14
2.4.3 Generátor sinusového signálu 1 kHz a růžového šumu .....	14
2.4.4 Led indikátor vybuzení .....	16
2.4.5 Výstupní symetrický zesilovač .....	16
2.4.6 Napájecí modul .....	18
<b>3 Návrhy DPS a šasi MP</b>	<b>19</b>
3.1 Návrhy DPS pro předzesilovače .....	19
3.2 Návrhy DPS pro korekční zesilovače .....	20



3.3	Návrh šasi mixážního pultu v programu Solid Works.....	21
3.4	Grafické zpracování ovládacího panelu v programu Corel Draw X7. ...	22
<b>4</b>	<b>Měření mixážního pultu</b>	<b>23</b>
4.1	1. Kanál.....	23
4.1.1	Předzesilovač .....	23
4.1.2	Ekvalizér .....	23
4.2	2. Kanál.....	24
4.2.1	Předzesilovač .....	24
4.2.2	Ekvalizér .....	24
4.3	3. Kanál.....	25
4.3.1	Předzesilovač .....	25
4.3.2	Ekvalizér .....	25
4.4	4. Kanál.....	26
4.4.1	Předzesilovač .....	26
4.4.2	Ekvalizér .....	26
4.5	5./6. Kanál.....	27
4.5.1	Předzesilovač .....	27
4.5.2	Ekvalizér .....	27
4.6	7./8. Kanál.....	28
4.6.1	Ekvalizér .....	28
4.7	Pomocné obvody.....	29
4.7.1	Součtový zesilovač .....	29
4.7.2	Sluchátkový zesilovač.....	29
	<b>Závěr</b>	<b>30</b>
	<b>Literatura</b>	<b>31</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>32</b>
	<b>Seznam Příloh</b>	<b>33</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Ovládání předzesilovače, typ Allen & Heath GL2200.....	2
Obr. 1.2: Ovládání korekcí, typ Allen & Heath GL2200. ....	3
Obr. 1.3: Blokové schéma MP.....	4
Obr. 2.1: Rychlost přeběhu. ....	6
Obr. 2.2: Čas ustálení.....	7
Obr. 2.3: Vnitřní blokové schéma TDA1524 převzato z [12]. ....	12
Obr. 2.4: Schéma součtového zesilovače.....	14
Obr. 2.5: Schéma sluchátkového zesilovače s TDA152. ....	14
Obr. 2.6: Schéma generátoru signálů.....	15
Obr. 2.7: Výstupní symetrický zesilovač.....	16
Obr. 2.8: Schéma LED indikátoru úrovně vybuzení. ....	17
Obr. 2.9: Schéma napájecího modulu.....	18
Obr. 3.1: Rozměry DPS pro předzesilovače. ....	19
Obr. 3.2: Rozměry DPS pro stereo předzesilovače. ....	19
Obr. 3.3: Rozměry DPS pro ekvalizéry. ....	20
Obr. 3.4: Rozměry DPS pro elektronické ekvalizace. ....	20
Obr. 3.5: Výsledná podoba návrhu šasi včetně ovládacích prvků. ....	21
Obr. 3.6: Ovládací panel. ....	22
Obr. 4.1: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače GL2200. ....	23
Obr. 4.2: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru GL2200. ....	23
Obr. 4.3: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače s AD797.....	24
Obr. 4.4: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 2. kanál.....	24
Obr. 4.5: Modulová frekvenční charakteristika diskrétního předzesilovače. ....	25
Obr. 4.6: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 3. kanál.....	25
Obr. 4.7: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače s SSM2019.....	26
Obr. 4.8: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 4. kanál.....	26
Obr. 4.9: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače 5./6. (stejný pro oba stereo kanály).....	27
Obr. 4.10: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru s TDA1524.....	27
Obr. 4.11: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru s LM1036.....	28

Obr. 4.12: Modulová frekvenční charakteristika součtového zesilovače. ....	29
Obr. 4.13: Modulová frekvenční charakteristika sluchátkového zesilovače s TDA152.	29

## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1: Přehled základních parametrů OZ. ....	5
Tab. 2.2: Rozsahy přeladění parametrického ekvalizéru. ....	10
Tab. 2.3: Porovnání dvou elektronicky ovládaných korekcí. ....	11

# ÚVOD

Tato práce pojednává o kompletním návrhu analogového mixážního pultu, dále jen MP. Postupně prochází jednotlivé stupně návrhu od vstupních konektorů, přes předzesilovač, korekce až po výstupní část. V podstatě se dělí na čtyři oddíly, jimiž jsou: základní popis MP, navazující návrh MP, výroba MP a měření celého zařízení.

Jak již název napovídá, jedná se o přípravek pro laboratorní výuku. S tímto statutem musí být tedy počítáno a na výsledek práce také tak nahlíženo. Tato práce se přiklání k řešení samotného jádra MP a nejdůležitějším částem, kterými jsou bezpochybně vstupní předzesilovač, korekční články a směšovač. Každý channel strip („šavle“) bude realizován rozlišně než ten předchozí. Na komerčním MP se s tímto faktem nemůžeme nikdy setkat, neboť zde je každý Ch. S. originální, jak schematickým zapojením, tak vlastní DPS. Tento fakt by v konečném důsledku byl značně nepraktický a zařízení by se stalo velmi nákladným na výrobu. Z pedagogického hlediska je však tento směr velice výhodný, neboť je možné si různá zapojení mezi sebou porovnávat.

V prvním oddíle je představeno základní blokové schéma MP a jeho jednoduchý popis.

V druhém oddílu je kladeno za cíl vytvořit koncept. Při vytváření konceptu je využíváno hlavně programu PsPice, do kterého je prvotní návrh překreslen, odsimulován a v případě potřeby upraven. Těchto simulací je provedeno mnoho, neboť, jak je uvedeno výše, každé zapojení je jiné. Konkrétní postupy pro návrhy jednotlivých Ch. S. jsou uvedeny níže v jednotlivých podkapitolách.

V třetím oddíle je cílem vytvořit kompletní konstrukční podklady pro výrobu všech desek plošných spojů včetně šasi a grafického zpracování ovládacího panelu.

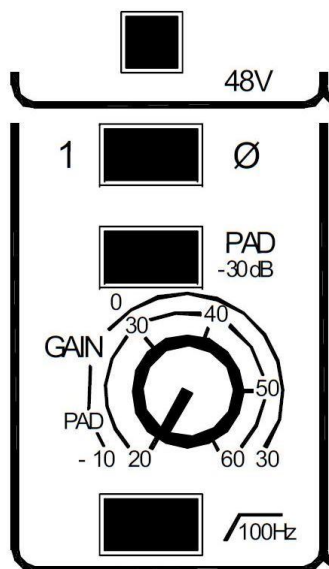
Ve čtvrté kapitole bude probíhat měření a testování všech obvodů. U každého obvodu budou proměřovány parametry navržené v kapitole dva. Výsledky měření budou umístěny přímo v kapitole čtyři. V případě odchylek od návrhu, budou tyto odchylky diskutovány.

# 1 ZÁKLADNÍ POPIS MP

V této kapitole je zjednodušeně probráno blokové schéma mixážního pultu. Zjednodušené blokové schéma vyobrazuje Obr. 1.3.

Vstupní část tvoří vstupní konektory, nejčastěji se jedná o konektory typu XLR, Phone connector (Jack) nebo kombinace obou předchozích způsobů v jednom pouzdře. Všechny tyto konektory jsou tří pinové, jedná se o standardní připojení, které má za účel eliminovat naindukované rušení na připojovací kabeláži. Základní princip spočívá v předpokladu, že rušení se naindukuje na oba signálové vodiče souhlasně, vodiče jsou však v proti fázi a při zpracování se rušivý signál odečte od sebe sama. Toto připojení nese název symetrické.

Dalším článkem v přenosovém řetězci je předzesilovač, jistě nejpodstatnější část celého zařízení. Na tento článek jsou kladeny velké požadavky, neboť má velký vliv na výsledný šum, zisk, zkreslení atd. Je zde požadován také velký dynamický rozsah. Možnost volby zisku bývá obvykle 40 dB s možností vložení útlumového článku. Možné provedení ukazuje Obr. 1.1 (převzato z [3]). Nalezneme zde tlačítko pro zapnutí phantomového napájení, které je nezbytné pro připojení kondenzátorových mikrofonů, dále změnu fáze, která má své největší uplatnění při snímání rytmického bubínku dvěma mikrofony, dále tlačítko pro útlum (při vysoké úrovni vstupního signálu), změnu zisku a poslední tlačítko prezentuje horní propust (může být i laditelná), která má za účel eliminovat všechny frekvence pod mezním kmitočtem, nejčastěji otřesy na podiu, údery do mikrofonu apod.

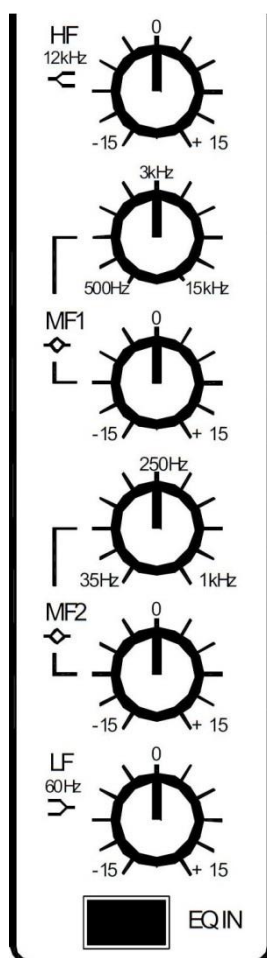


Obr. 1.1: Ovládání předzesilovače, typ Allen & Heath GL2200.

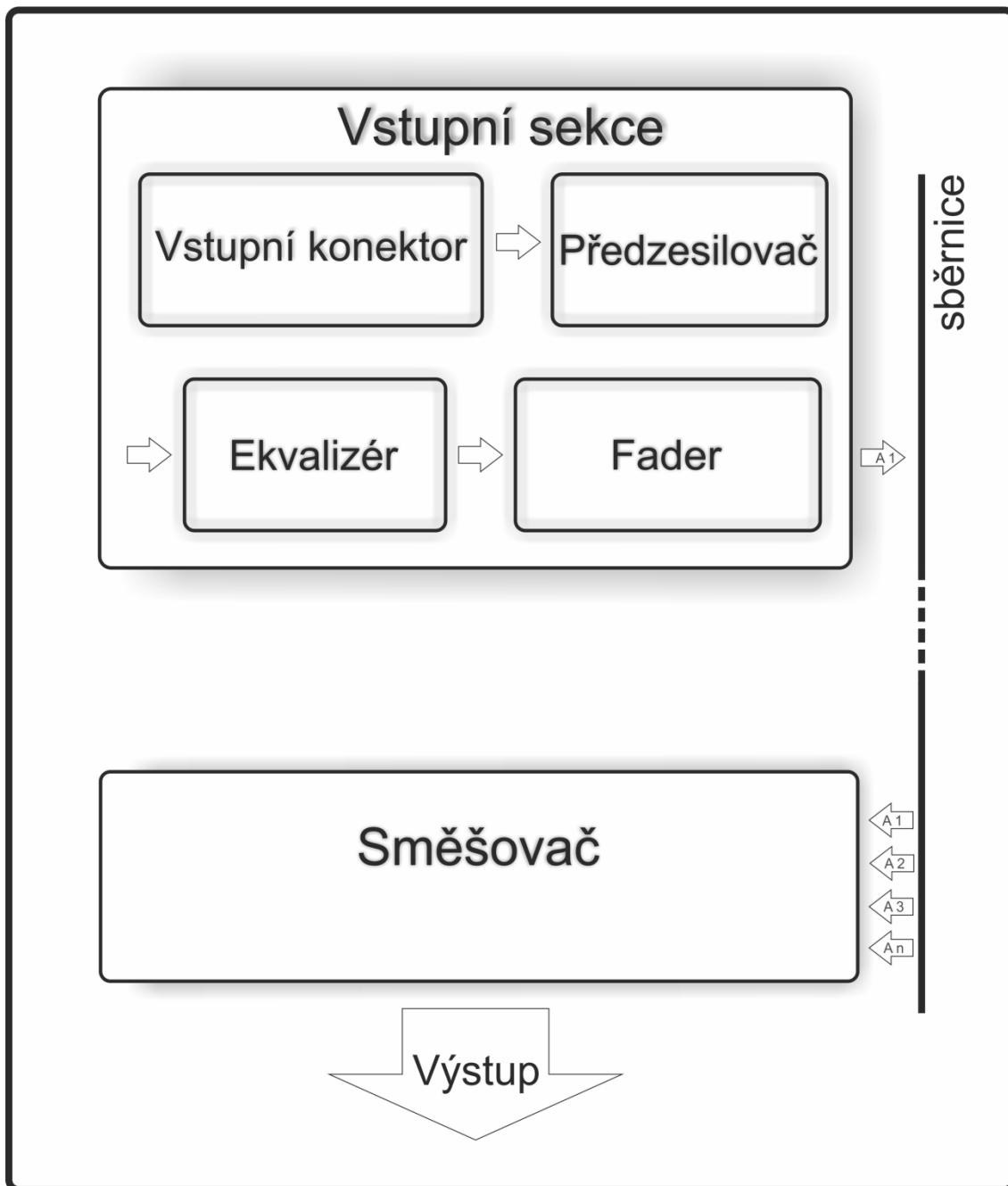
Následuje ekvalizér, který upravuje přenos jednotlivých frekvenčních složek. Nejčastěji se u MP setkáváme se způsobem zobrazeným na Obr. 1.2 (převzato z [3]). Je zde možné nalézt dvě pevné korekce (výšky a hloubky) a dvě parametrické korekce, které je možné na námi požadovanou frekvenci přeladit. Jak ukazuje obrázek, krajní korekce mají tvar připomínající horní a dolní propust. Jejich funkce je naprosto stejná, zesilují, nebo zeslabují všechny frekvence nacházející se za mezním kmitočtem. U přeladitelných korekcí se jedná o filtry typu pásmová propust (popř. zádrž), s určitým činitelem jakosti. Všechny korekce mají stejnou úroveň zisku, většinou se možnost nastavení útlumu (popř. zesílení) pohybuje od (12÷20) dB. Pro úplné přemostění korekcí je možné použít tlačítko EQ IN.

Dalším blokem u komerčního pultu by byly bezpochyby výstupy AUX. Jedná se o pomocné výstupy, pomocí kterých směřujeme signál i mimo hlavní sběrnici, slouží např. k odesílání signálu do odposlechových cest, efektových procesorů atd. Tento oddíl práce ignoruje, neboť se zabývá zpracováním signálu pouze na jeho hlavní cestě.

Poslední blok uzavírající Ch. S. je rozvážení signálu do stereo váhy a nastavení výstupní úrovně signálu. V této části je také umístěn zjednodušený VU metr v podobě čtyř LED diod, které signalizují úroveň vybuzení signálu. Tento nápad je převzat z konstrukce GL2200, neboť je v praxi naprosto vyhovující a osvědčený.



Obr. 1.2: Ovládání korekcí, typ Allen & Heath GL2200.



Obr. 1.3: Blokové schéma MP.



## 2 NÁVRH MIXÁŽNÍHO PULTU

### 2.1 Výběr aktivních součástek

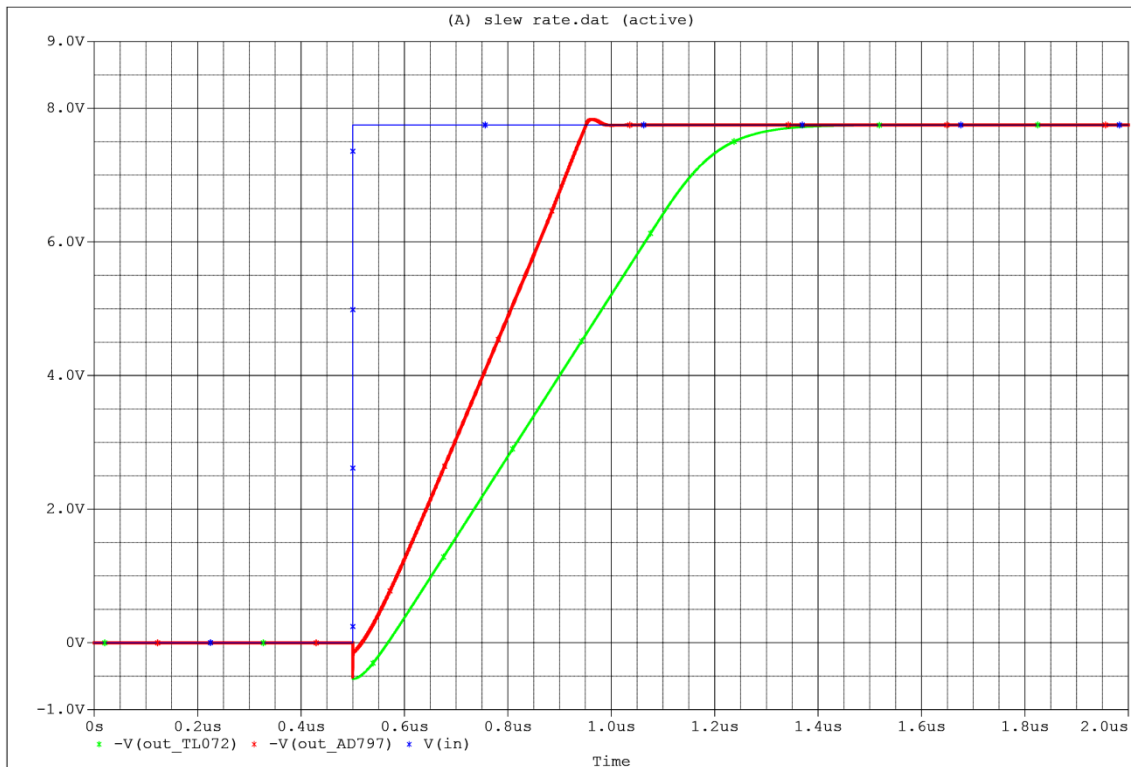
Zde je kladeno za cíl vybrat optimální součástky pro jednotlivá zapojení. V zadání je požadováno nízkošumové provedení aktivních prvků. Je to jeden z mnoha požadavků na výběr OZ. Přehled těch nejdůležitějších pro tuto práci uvádí Tab. 2.1. Parametry jsou vypsány z datasheetů výrobců [13][6][7][1][10].

Tab. 2.1: Přehled základních parametrů OZ.

Typ	TL072	NE5532	OPA1642	LM833	AD797	SSM2019
Popis	JFET, low noise	low noise	Jfet, sound plus, high performance	dual audio op. amplifier	ultralow distortion and noise	Self-Contained audio preamp
Parametry						
Rychlost přeběhu [V/us]	13	9	20	7	20	16
Čas ustálení [ns]	není uvedeno	není uvedeno	není uvedeno	není uvedeno	800	není uvedeno
Šum [nV/Hz] - (1kHz)	18	5	5,1	4,5	0,9	1,0
THD [%]	0,003	není uvedeno	0,00005	0,002	0,0001	0,0085
CMMR [dB]	100	100	126	100	130	110
Poč. kanálů	2	2	2	2	1	2
Výrobce	Tex. In.	Tex. In.	Tex. In. (Burr-Brown Audio)	Tex. In.	Anal. Dev.	Anal. Dev.
Cena za kus [EUR]	0,64	0,73	3,36	0,82	7,81	4,10

## 2.1.1 Rychlost přeběhu

Jedná se o parametr, který nám udává, s jakou rychlostí dokáže výstupní napětí narůstat při změně úrovně na vstupu, v podstatě jakou rychlostí sleduje vstupní napětí. Nejčastěji se udává ve  $V/\mu s$ . Situaci zachycuje Obr. 2.1, kdy na vstupy OZ přivádíme skokové napětí.



Obr. 2.1: Rychlost přeběhu.

Podle Tab. 2.1 si můžeme ověřit, že OZ TL072 má menší rychlost přeběhu než AD797. Podle vztahu (1.1) a naměřených hodnot je možno tento předpoklad ověřit.

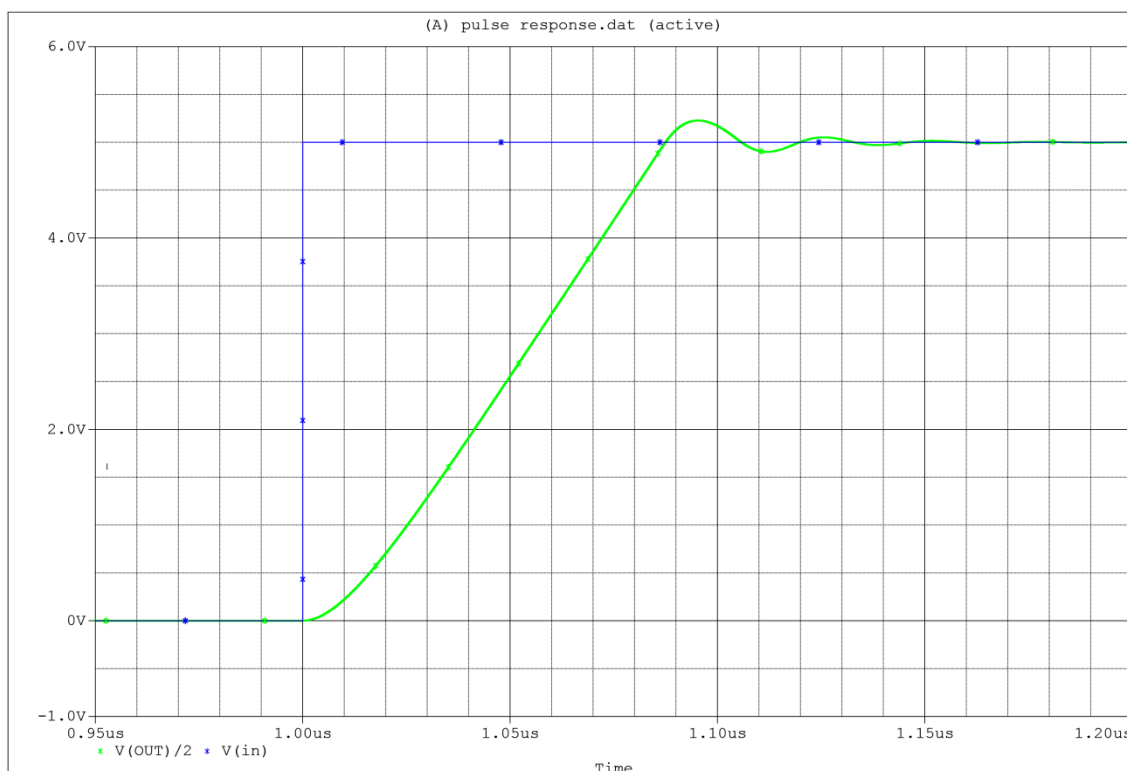
$$S = \frac{\Delta U}{\Delta t} \quad [V/\mu s, V, \mu s] \quad (1.1)$$

$$S = \frac{7,1}{0,6} = 11,8 V/\mu s \quad (1.2)$$

Je nutno brát na zřetel, že se jedná o pouhé modely a hodnoty jsou pouze ilustrativní.

## 2.1.2 Čas ustálení

Tento parametr definuje [8] jako časový interval od průchodu danou úrovní do doby, kdy naposledy dosáhne úrovně, která se liší od ustálené o zvolenou hodnotu. Situaci nastiňuje Obr. 2.2, který zachycuje odezvu na vstupní signál. Na obrázku je zřetelně vidět zvlnění, při dosažení úrovně vstupního signálu. Toto zvlnění je snaha co nejvíce eliminovat. Nejčastěji se používá kompenzačního kondenzátoru, jeho hodnota se pohybuje v rozmezí  $(3\div 30)$  pF. Pokud by byla hodnota kondenzátoru dále inkrementována, zhoršilo by to dynamické vlastnosti OZ. Je však nutné zmínit, že dlouhý čas ustálení vnáší do signálu tolik nechtěné zkreslení.



Obr. 2.2: Čas ustálení.

## 2.1.3 Šum

Šum považujeme opět za nežádoucí, avšak parametry typu rychlost přeběhu, THD, čas ustálení aj. patří z hlediska přijatelnosti reprodukce pro lidský sluch k daleko podstatnějším. Příliš vysoká úroveň šumu jistě zhoršuje dynamiku přenášeného signálu, ale pro lidský sluch není nižší dynamika vnímána tak negativně, jako zkreslený signál, který rozezná i amatérský posluchač.

Při zesilování signálů s nízkou úrovní je důležité, aby první článek měl co nejmenší šumové číslo. Tento fakt vyplývá z Friisova vztahu (1.3). Šumové číslo můžeme určit dle vztahu (1.4).

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_{A1}} + \frac{F_3 - 1}{G_{A2}} + \dots \quad [-, -] \quad (1.3)$$

$$F = \frac{S/N_{in}}{S/N_{out}} \quad [-, -] \quad (1.4)$$

### 2.1.4 Harmonické zkreslení

Tento parametr vyjadřuje poměr (v případě této práce) součtu napětích harmonických složek k napětí první harmonické složky. Výpočet uvádí vztah (1.5).

$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 \dots + U_n^2}} * 100 \quad [%, V] \quad (1.5)$$

Vznik harmonického zkreslení je zapříčiněn nelineární přenosovou charakteristikou polovodičových součástek.

Obecně se citlivost lidského ucha na úroveň zkreslení frekvenčně mění. Při nižších frekvencích lidské ucho nevnímá zkreslení tak, jako při vysokých kmitočtech. Je tedy důležité, aby vyšší frekvence měly zkreslení co nejmenší. Bohužel většina součástek má s rostoucím kmitočtem i rostoucí hodnotu zkreslení.

## 2.2 Obvodová zapojení mikrofonních vstupů

V této podkapitole je stručné seznámení s jednotlivými obvodovými zapojeními. Jedná se o čtyři mikrofonní předzesilovače se symetrickými vstupy. Vybrané výsledky simulací a obvodová schémata se nacházejí v přílohách.

### 2.2.1 1. Kanál podle vzoru Allen & Heat GL2200

Zdroj tohoto zapojení pochází přímo od výrobce [3], který uvolnil servisní manuál uvedeného modelu MP z roku 1999. Tento model byl pro své parametry a velký počet AUX výstupů velmi oblíben. Po menších úpravách je možné ho stále používat v praxi.

Kompletní zapojení uvádí [3]. Ze zapojení jsou převzaty části: předzesilovač, korekce, fader, panorama a indikátor úrovně vybuzení. Všechny tyto části byly odsimulovány, ale nebyly nikterak upravovány. Simulace byly provedeny pouze za účelem ověření funkčnosti a lepšímu porozumění obvodu. Všechny simulace vycházely podle parametrů uváděných od výrobce.

### 2.2.2 2. Kanál s předzesilovačem AD797

Toto zapojení vychází ze zapojení přístrojového zesilovače. Jeho název je odvozen od hlavního použití a to ve velmi přesných přístrojích, které zpracovávají velmi nízké úrovně signálů. Kostra zapojení je převzata z [14]. Opět se jedná o zapojení, které zpracovává symetrický signál. Podle vztahu (1.6) jsou hodnoty součástí upraveny pro požadovaný rozsah (20÷60) dB. Pro toto zapojení byly vybrány velice kvalitní OZ AD797, jejich špičkové parametry (Tab. 2.1) jsou vykoupeny vcelku vysokou cenou.

$$A = \frac{R_{f1} + R_{f2}}{R_{gain} + R_{pot\_gain}} \quad [-, \Omega] \quad (1.6)$$

Korekční člen pro tento Ch. S. byl vybrán z [9]. Jedná se vlastně o dva korekční členy zapojené za sebou. První člen má možnost přeladění střední frekvence a jako jediný také volbu činitele jakosti. Tato možnost je velmi výhodná při eliminaci úzkého spektra signálu, který obsahuje rušení nebo je jinak nežádoucí. Nejedná se však o filtr typu notch, který má mnohonásobně vyšší činitel jakosti a logicky užší pásmo.

U druhého filtru je také možnost přeladění a opět je originální v možnosti volby typu filtru. Přepínačem je možné volit mezi úzkým pásmem kmitočtů nebo všemi kmitočty za mezní frekvencí.

### 2.2.3 3. Kanál s diskretním předzesilovačem

V audio technice se občas můžeme setkat s pojmem audio transformátor. Může se jednat o TR, který je vhodný pro napájení koncových stupňů. Tento druh bývá většinou toroidní. Další možností použití je přizpůsobení na zátěž. S těmito TR se setkáme nejčastěji u elektronkových zesilovačů, kdy se zesilovač přizpůsobuje na nízkou impedanci kytarového boxu. Tyto TR jsou většinou navinuty na jádrech typu EI. V neposlední řadě, můžeme narazit na TR s transformačním poměrem 1:1, tento druh má pouze funkci oddělovací, kdy se zdroj a zátěž galvanicky oddělí a zamezí se tak pronikajícím brumu vznikajícího díky špatnému uzemnění. Pro účely této práce je pozornost zaměřena na TR, který v sobě slučuje funkci oddělovací, a zároveň transformuje symetrické vedení na nesymetrické.

Zapojení předzesilovače je převzato z [5]. Jedná o jednoduchý malosignálový zesilovač se snadno dostupnými tranzistory BC548. Zapojení bylo upraveno pro rozsah (0÷40) dB. Zapojení otáčí fázi, je tedy výhodné, aby následující obvod otáčel fázi také.

Korekční obvod, který následuje, má kaskádně řazený tři OZ v invertujícím zapojení, je tedy logické, že změny fáze se vyruší. Zapojení popisuje [2]. Filtr je složen z tří pásmových propustí/zadržů, které jsou přeladitelné. Rozsahy přeladění ukazuje Tab. 2.2.

Tab. 2.2: Rozsahy přeladění parametrického ekvalizéru.

	<b>Rozsah přeladění [Hz]</b>
<b>Vysoké frekvence</b>	(1÷12) k
<b>Střední frekvence</b>	300÷6 k
<b>Nízké frekvence</b>	45÷500

### 2.2.4 4. Kanál s SSM2019

Jedná se o poslední verzi předzesilovače v jednom pouzdře od firmy Analog Devices. Tento předzesilovač patří do třídy levných zesilovačů, které nepotřebují velké množství externích součástek a nastavení jejich zesílení je velmi jednoduché. Parametry opět porovnává Tab. 2.1. Zdroj zapojení pochází z [10].

Nastavení zesílení se provádí pomocí externího potenciometru. Rozsah nastavení zesílení je (0÷60) dB. V tomto zapojení je rozsah upraven na (10÷60) dB. Zvláštností tohoto zapojení je fakt, že na výstupu předzesilovače není připojen oddělovací kondenzátor, který eliminuje složku stejnosměrného napětí. Zde je k eliminaci použito zapojení nazývané DC servo. Princip tohoto zapojení spočívá v jednoduché zpětné vazbě, kdy stejnosměrné napětí na výstupu přivádíme v opačné fázi na SSM2019 a to konkrétně na pin REF. Pin REF slouží pro určení referenčního napětí a obvykle se na něj přivádí přímo nulové napětí.

Korekční zesilovač v tomto zapojení je třípásmový. Od předchozího se liší tvarem korekčních charakteristik. U výšek a hloubek se jedná o tvar horní a dolní propusti. U středů se jedná o tvar pásmové propusti/zádrže. Je zde také možnost střední frekvenci přeladovat v rozsahu 300 Hz÷6 kHz. Každá korekce má možnost zesílení 15 dB.

## 2.3 Obvodová zapojení stereo vstupů

U všech předchozích zapojení signál (při řízení zisku, korekcí atd.) prochází proměnnými rezistory, potenciometry. Je nutné brát na zřetel, že potenciometry podléhají mechanickému namáhání a jejich odporová dráha se časem a používáním poškozuje. Při častém používání začínají levnější potenciometry produkovat nechťené signály, jakými je např. dobře známé „chrastění“. Tento jev lze eliminovat včasnou výměnou potenciometrů, použitím vyšší kvality potenciometru nebo použitím elektronické regulace. Výhody elektronické regulace spočívají hlavně v možnosti použití digitálního ovládání i bez nutnosti převodu signálu do digitální podoby.

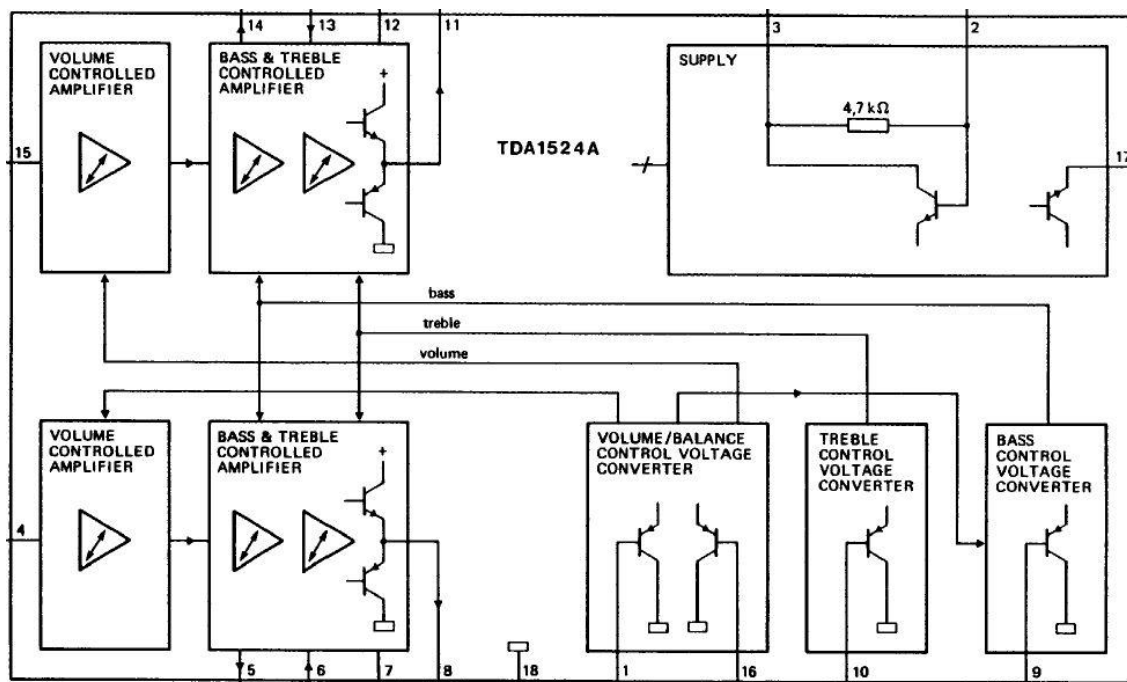
Tato kapitola popisuje návrh dvou stereo vstupů. Oba stereo vstupy mají podobnou koncepci, neboť jsou realizovány pomocí elektronicky regulovatelných integrovaných obvodů dvou konkurenčních výrobců. Mezi hlavní výhody patří malé množství externích součástek. Jejich základní vlastnosti popisuje Tab. 2.1. Protože se jedná pouze o korekční obvody, je nutné vložit před korekce předzesilovač. U těchto dvou zapojení jsou provedeny simulace pouze u předzesilovače. Výsledná schémata jsou uvedena v přílohách.

Tab. 2.3: Porovnání dvou elektronicky ovládaných korekcí.

	<b>TDA1524</b>	<b>LM1036</b>
<b>Rozsah regulace hlasitosti [dB]</b>	101	75
<b>Rozsah regulace ekvalizéru [dB]</b>	±15	±15
<b>THD [%]</b>	0,3	0,06
<b>Potlačení přeslechů [dB]</b>	60	75
<b>Max. výstupní napětí [dBu]</b>	11,7	2,2
<b>Výrobce</b>	Philips	Texas Instruments

### 2.3.1 5./6. Kanál s TDA1524

Jako první obvod bude přiblížen obvod TDA1524 od firmy Philips [12]. Obvod je ovládán pomocí stejnosměrného napětí přiváděného na příslušné piny. Vnitřní uspořádání obvodu ukazuje Obr. 2.3. V této práci je dodrženo doporučené zapojení podle datasheetu. Obvod obsahuje i fyziologickou regulaci, s tímto faktem bude počítáno pro návrh úlohy.



Obr. 2.3: Vnitřní blokové schéma TDA1524 převzato z [12].

### 2.3.2 7./8. Kanál s LM1036

Tento obvod je svým zapojením hodně podobný předcházejícímu, opět bude zapojen podle doporučení výrobce. Jeho podoba s předchozím zapojením je záměrná, neboť bude s předchozím obvodem porovnáván. Předzesilovač pro tento kanál je shodný s předchozím.

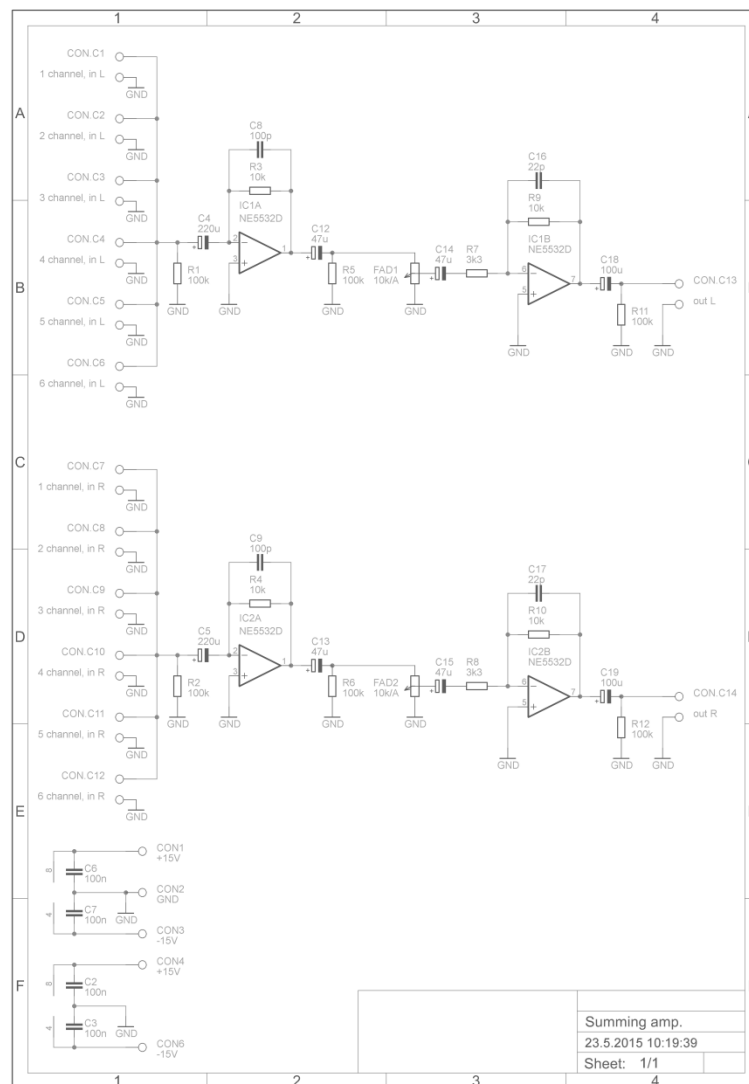


## 2.4 Návrh pomocných obvodů

V této kapitole jsou postupně navrženy všechny pomocné obvody. Mezi ně řadíme součtový zesilovač, sluchátkový zesilovač, generátor sinusového signálu a šumu, indikátor vybuzení a výstupní symetrický zesilovač.

### 2.4.1 Součtový zesilovač

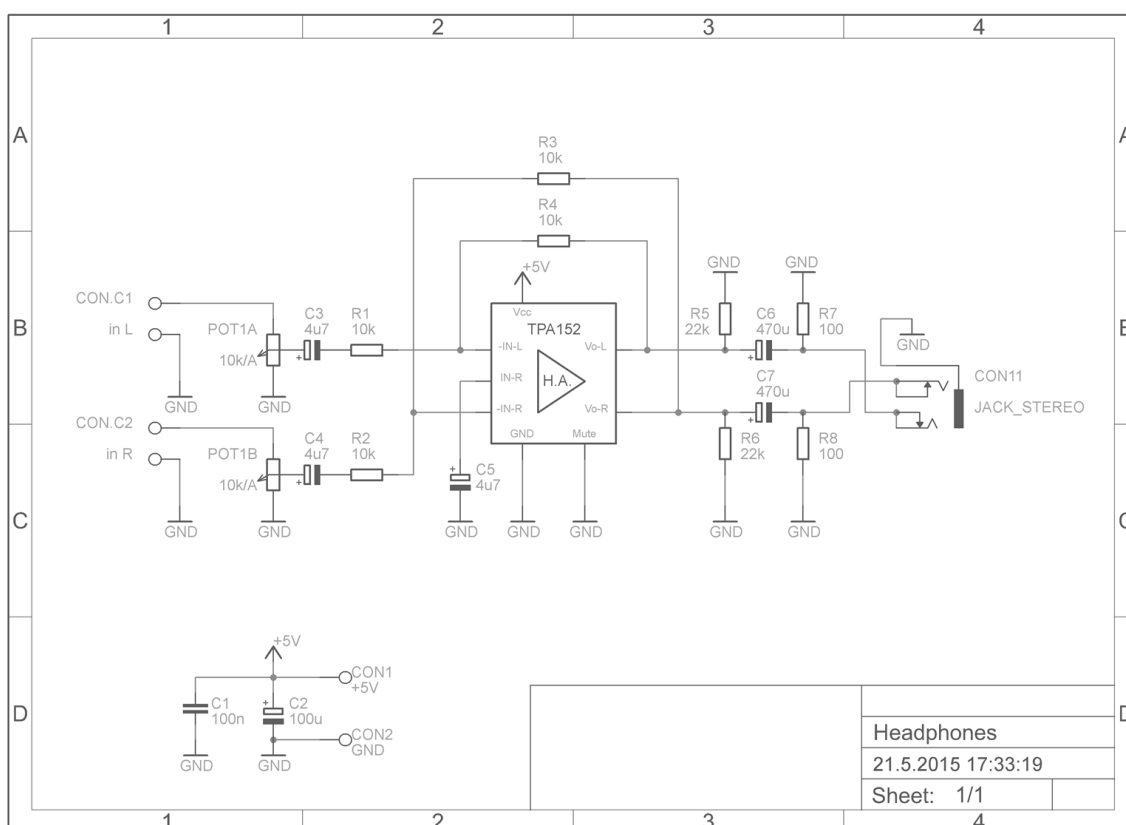
Pro směšování signálů z předchozích zapojení je navržený obvod součtového zesilovače. Tento zesilovač má hlavní funkci ve sloučení signálů bez vzájemného ovlivnění předchozích stupňů. Součtový zesilovač je v invertujícím zapojení. Následující obvod proto plní funkci nejen zesilovací (obvyklých 10 dB), ale i invertuje fázi signálu na původní. Signál pro měření bude odebrán z tohoto místa, neboť pro osciloskop a jiné měřicí přístroje nepotřebujeme symetrický signál. Protože všechny kanály jsou připojeny na tento součtový zesilovač, je nezbytně nutné, aby nevznášel do výsledného signálu zkreslení, byl frekvenčně i fázově vyrovnaný atd. Schéma se nalézá na Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Schéma součtového zesilovače.

## 2.4.2 Sluchátkový zesilovač s TDA152

Pro případný poslech je navržen sluchátkový zesilovač. Výrobce udává, že svými parametry splňuje normu Hi-Fi. U laboratorní úlohy, která bude na tomto přípravku založena, se s poslechem nepočítá, proto je tedy tento zesilovač svými parametry naprosto dostačující. Maximální velikost napájecího napětí nesmí přesáhnout 6V, proto bude obvod napájen 5 V pro zajištění dostatečného odstupu od maximálního napětí. Výsledné schéma se nalézá na Obr. 2.5.



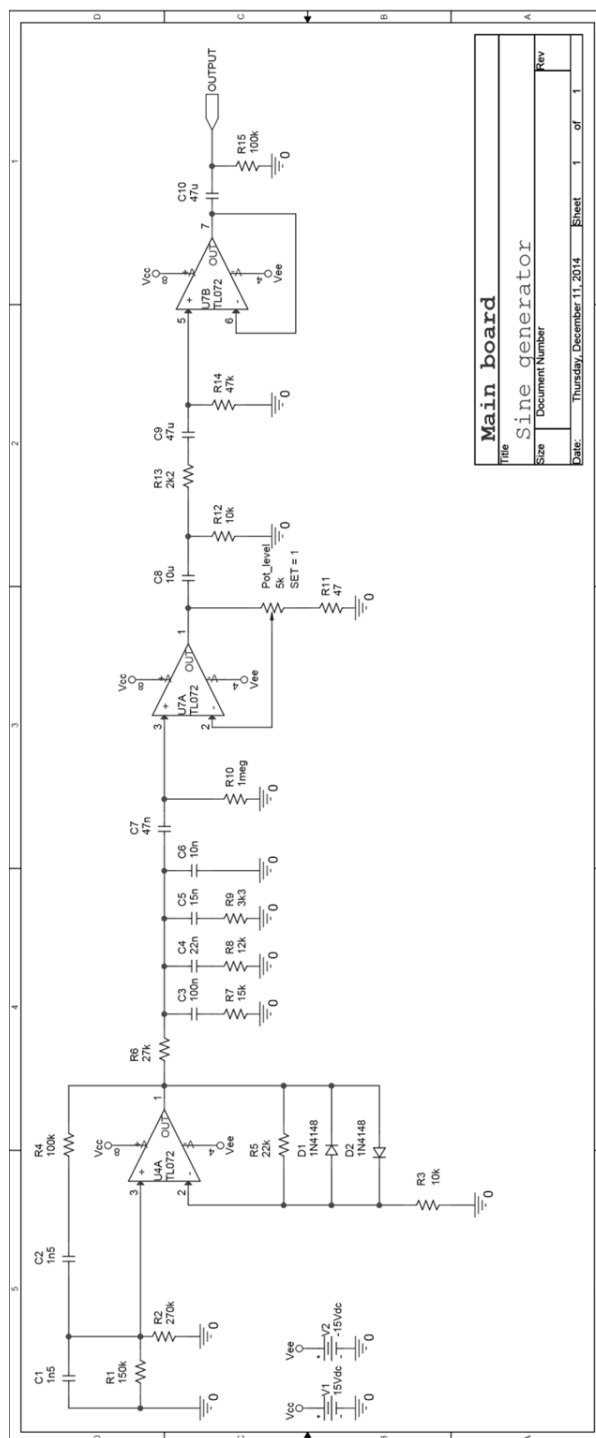
Obr. 2.5: Schéma sluchátkového zesilovače s TDA152.

## 2.4.3 Generátor sinusového signálu 1 kHz a růžového šumu

Generátor je převzat z [3]. Tento generátor má pomoci obsluze při kontrole signálových cest, odhadnout akustiku prostoru (stojatá vlnění) popřípadě další praktické účely. Zde bude sloužit při měření, kdy nebudeme muset přepojovat signálové cesty, ale pouze přepínačem přesměrujeme signál do příslušného kanálu.

Tento generátor se skládá z dvou částí. První částí je generátor sinusového signálu o kmitočtu 1 kHz. Tato část je založena na Wienově članku umístěného v kladné zpětné vazbě OZ a společně s ním tvoří vlastní oscilátor, dále následuje část, kde je nastavena výstupní úroveň signálu. Bez útlumu dosahuje signál úrovně 120 mV<sub>šš</sub>. Poslední část tvoří impedanční přizpůsobení zajištěné pomocí OZ zapojeného jako napěťového sledovače.

Druhou část tvoří zdroj bílého šumu, který produkuje tranzistor zapojen v závěrném směru. Tento signál je velmi slabý a je potřeba ho zesílit. Protože však zapojení generuje bílý šum, je nutno ještě signál vyfiltrovat. Tuto filtraci zajišťuje filtr umístěný před druhým OZ, kde je výsledný signál utlumován o 3 dB na oktávu. Tato část generátoru nemohla být simulována, neboť model není pro toto zapojení uzpůsobený. Schéma je uvedeno na Obr. 2.6.



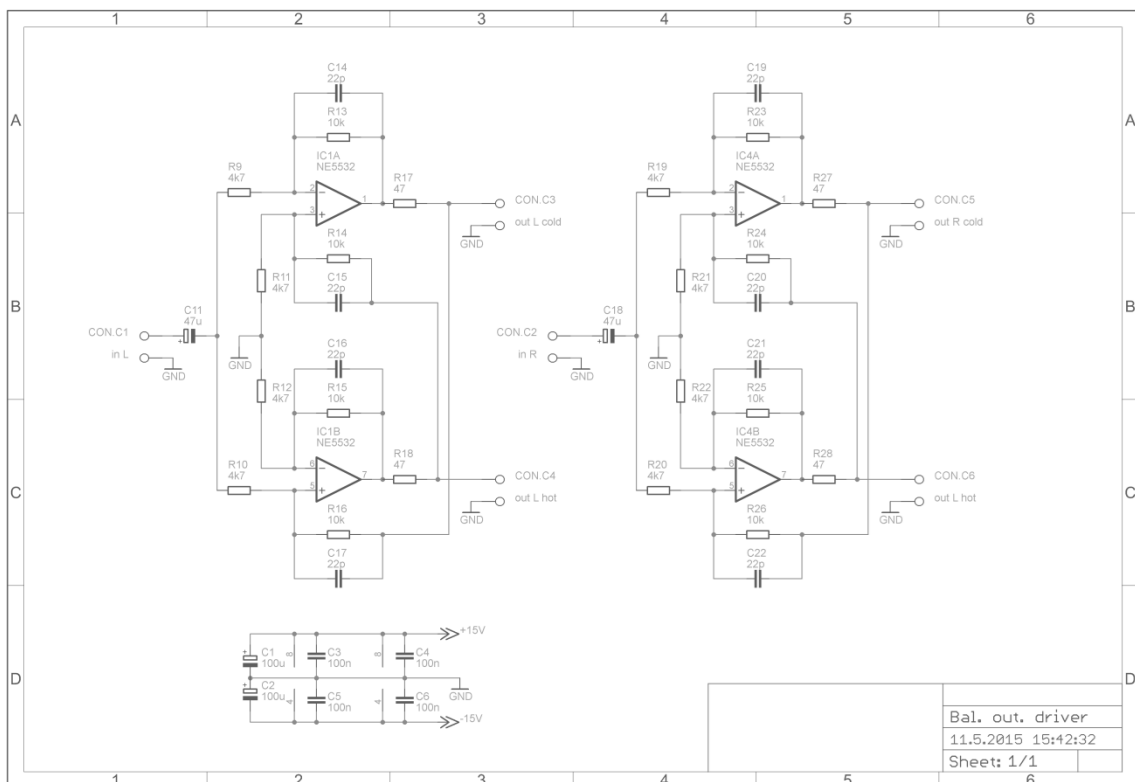
Obr. 2.6: Schéma generátoru signálů.

## 2.4.4 Led indikátor vybuzení

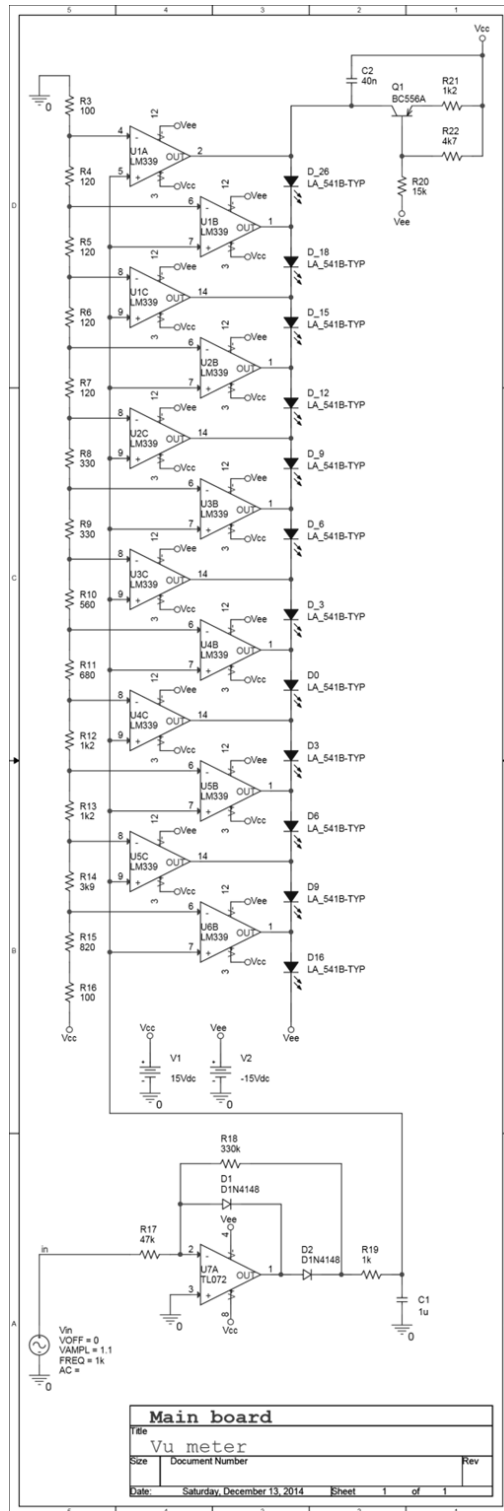
Protože hlavním úkolem MP je signál nejen sloučit ale i normalizovat na „stejně“ úrovně, je nutné mít možnost úroveň signálu kontrolovat. K tomuto účelu slouží VU metr, který má v zásadě dvě provedení. Jedním je klasický ručkový VU metr, tímto provedením se dále nebude zabýváno. Další je provedení s LED diodami, kdy je vcelku jednoduché si navrhnout rozsah měření. U většiny komerčních MP rozsah VU metru nepřesahuje 10 dB a následuje signalizace limitace. Pro dobrou dynamiku je nezbytně nutné se pohybovat průměrně okolo 0 dB, kdy špičky signálu mohou lehce převyšovat tuto hodnotu, ale nesmí se dostávat na úroveň limitace. Schéma uvedeno na Obr. 2.8.

## 2.4.5 Výstupní symetrický zesilovač

Po sloučení všech Ch. S. je nutné zpracovaný signál přenést do koncového zesilovače. Tento zesilovač je ve většině případů umístěn v blízkosti reproduktorů, což velmi často znamená daleko od MP. Je tedy nutné zajistit, aby signál byl při přenosu ovlivněn co možná nejméně. K tomuto účelu opět slouží rozdělení signálu do dvou signálových vodičů s rozdílnou fází. Toto zapojení obsahuje klasický NE5532. Schéma se nalézá na Obr. 2.7.



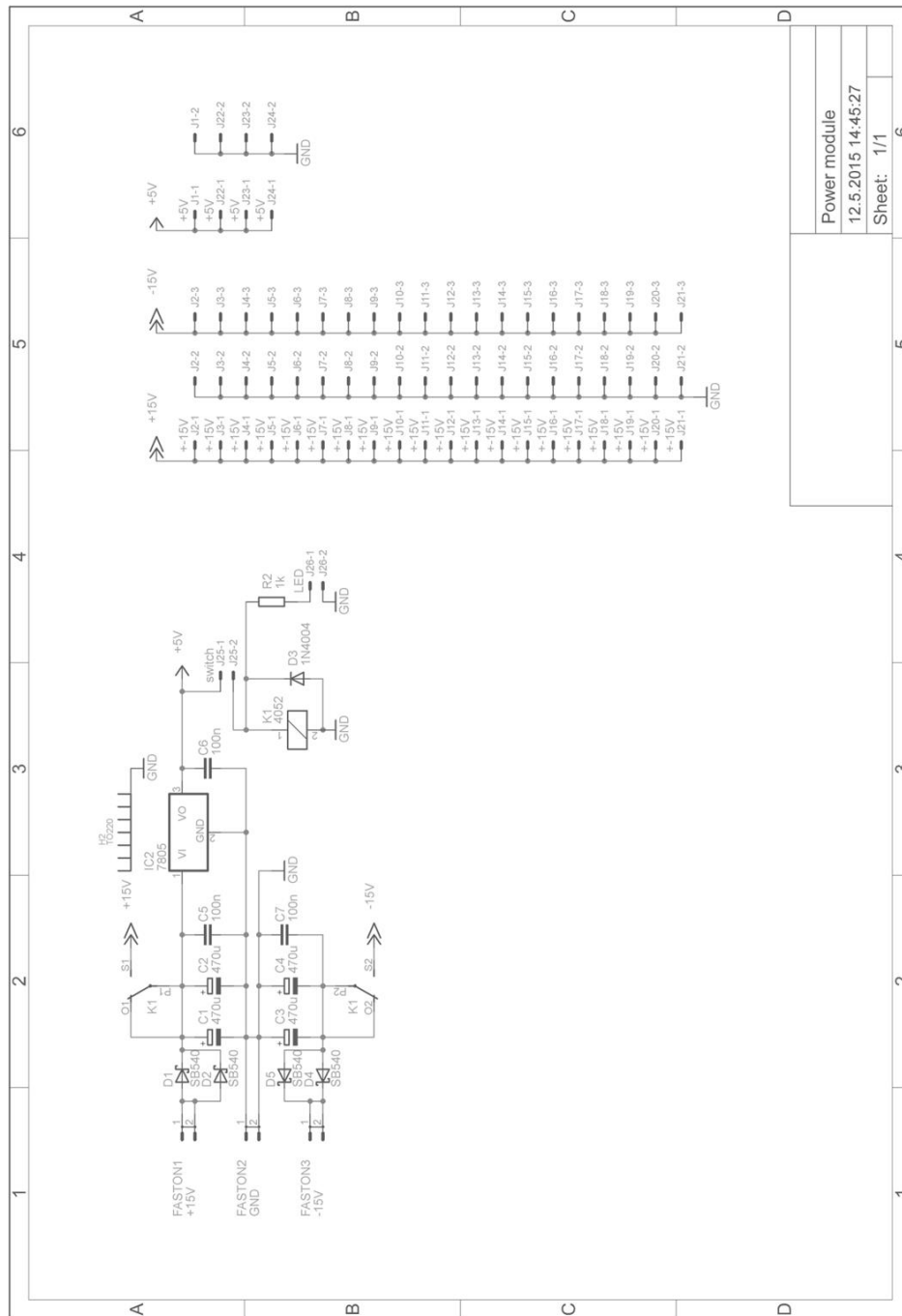
Obr. 2.7: Výstupní symetrický zesilovač.



Obr. 2.8: Schéma LED indikátoru úrovně vybuzení.

## 2.4.6 Napájecí modul

Posledním obvodem je napájecí modul. Tento modul bude sloužit pro připojení jednotlivých bloků k napájecímu napětí, které bude  $\pm 15V$ . Na vstupu jsou zapojeny dvě diody pro ochranu proti přepólování. Hlavním vypínačem, který je umístěn na ovládacím panelu, je spouštěno relé, které přivede napájení na všechny připojené obvody. Napájecí modul také obsahuje stabilizátor 7805, který dodává potřebné napětí pro napájení relátka a sluchátkového zesilovače. Schéma uvedeno na Obr. 2.9.



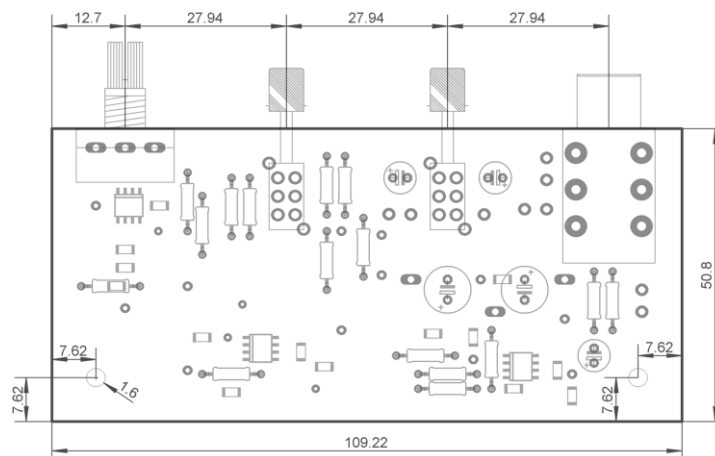
Obr. 2.9: Schéma napájecího modulu.

### 3 NÁVRHY DPS A ŠASI MP

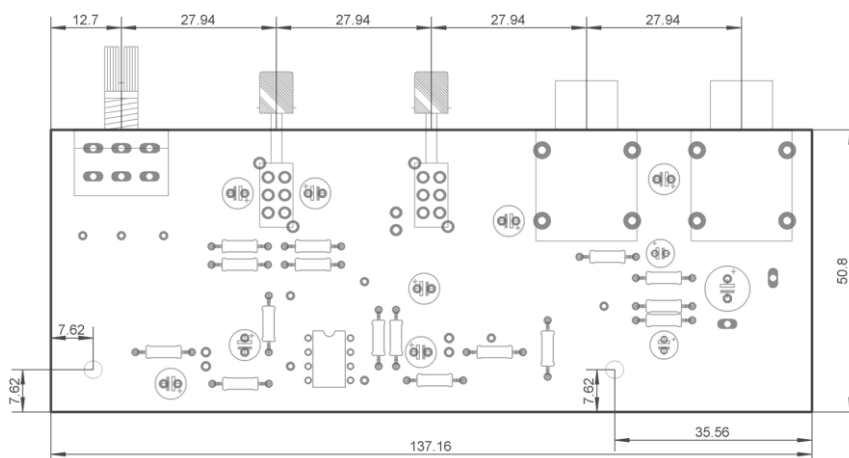
Tato kapitola pojednává o samotné výrobě mixážního pultu. Dále se dělí do několika podkapitol. První podkapitola je zaměřena na výrobu předzesilovačů, dále pak na korekční zesilovače, pomocné obvody (součtový zesilovač, výstupní zesilovač atd.) a v poslední řadě na mechanické provedení.

#### 3.1 Návrhy DPS pro předzesilovače

V první řadě bylo nutné navrhnout rozměry desky plošných spojů. Všechny DPS musí mít stejné rozměry z důvodů jednotvárnosti. Základním parametrem pro volbu vzdálenosti mezi jednotlivými ovládacími prvky, například dvěma potenciometry, je přehlednost při obsluze. Protože se jedná o přípravek do laboratorních cvičení, je nutné, aby tento rozměr byl větší než běžně používaný rozměr (Behringer Europower pmp6000 - 14mm) v komerčních mixážních pultech. Tento rozměr byl nakonec stanoven empiricky. Rozměry vyobrazuje Obr. 3.1. Rozměry DPS jsou na Obr. 3.1.



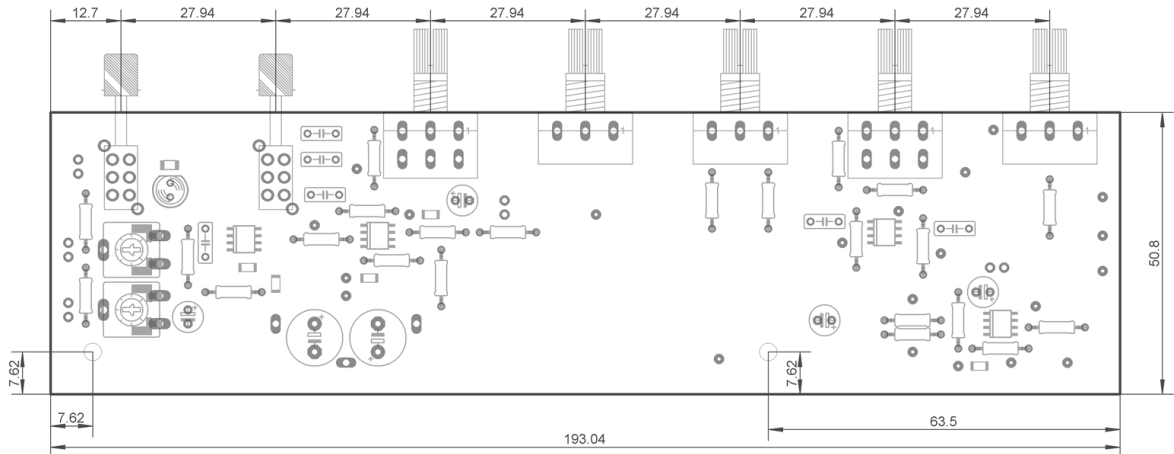
Obr. 3.1: Rozměry DPS pro předzesilovače.



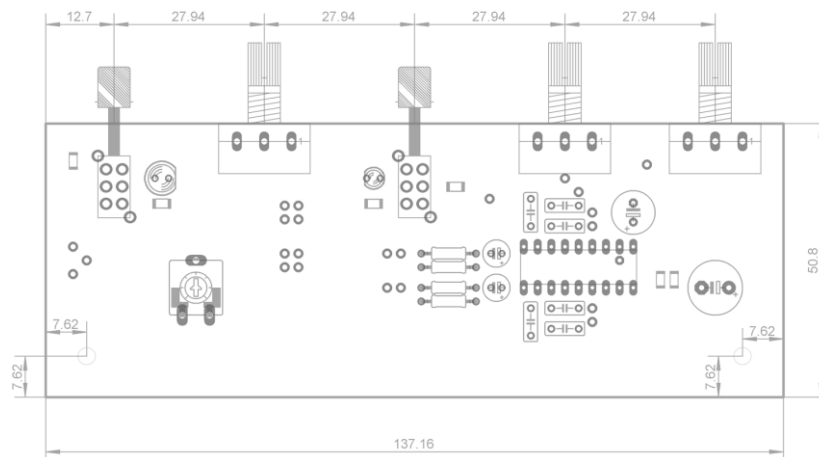
Obr. 3.2: Rozměry DPS pro stereo předzesilovače.

## 3.2 Návrh DPS pro korekční zesilovače

I v tomto případě je nutné desky plošných spojů vyrobit v jednotných rozměrech (Obr. 3.3). Rozdílné budou akorát dvě desky elektronických ekvalizací, neboť obsahují pouze 3 možnosti regulace a jeden přepínač pro fyziologickou ekvalizaci (Obr. 3.4).



Obr. 3.3: Rozměry DPS pro ekvalizéry.



Obr. 3.4: Rozměry DPS pro elektronické ekvalizace.



### 3.3 Návrh šasi mixážního pultu v programu Solid Works

Z důvodů velkých rozměrů mixážního pultu je nutné navrhnout odolné šasi, které nebude razantně zvyšovat váhu přípravku, ale bude dostatečně pevné, aby udrželo všechny desky plošných spojů. Tyto parametry dokonale splňuje hliník. Šasi se bude skládat ze šesti dílů. Vrchní a spodní díl, budou rozměrově naprosto stejné, pouze vrchní díl, bude mít navrtané a vyfrézované otvory pro montáž DPS a konektorů. Desky budou upevněny k šasi jen pomocí potenciometrů, kterých každá deska obsahuje několik a pomocí konektorů typu Jack 6,3mm, váha každé desky se tak rozloží do několika bodů a bude rovnoměrně rozložena. V případě, že by váha desek plošných spojů byla vysoká, jsou připraveny montážní otvory, kterými by se všechny desky spojily a rozložení sil, by se vyrovnalo. V nejhorším případě by se spojené desky přišroubovali k bočním hliníkovým deskám a zatížení by nesly pouze boční desky. Tento stav však nenastane, neboť váhy jednotlivých desek nejsou velké a nejtěžšími součástkami jsou většinou potenciometry, které jsou přišroubované.

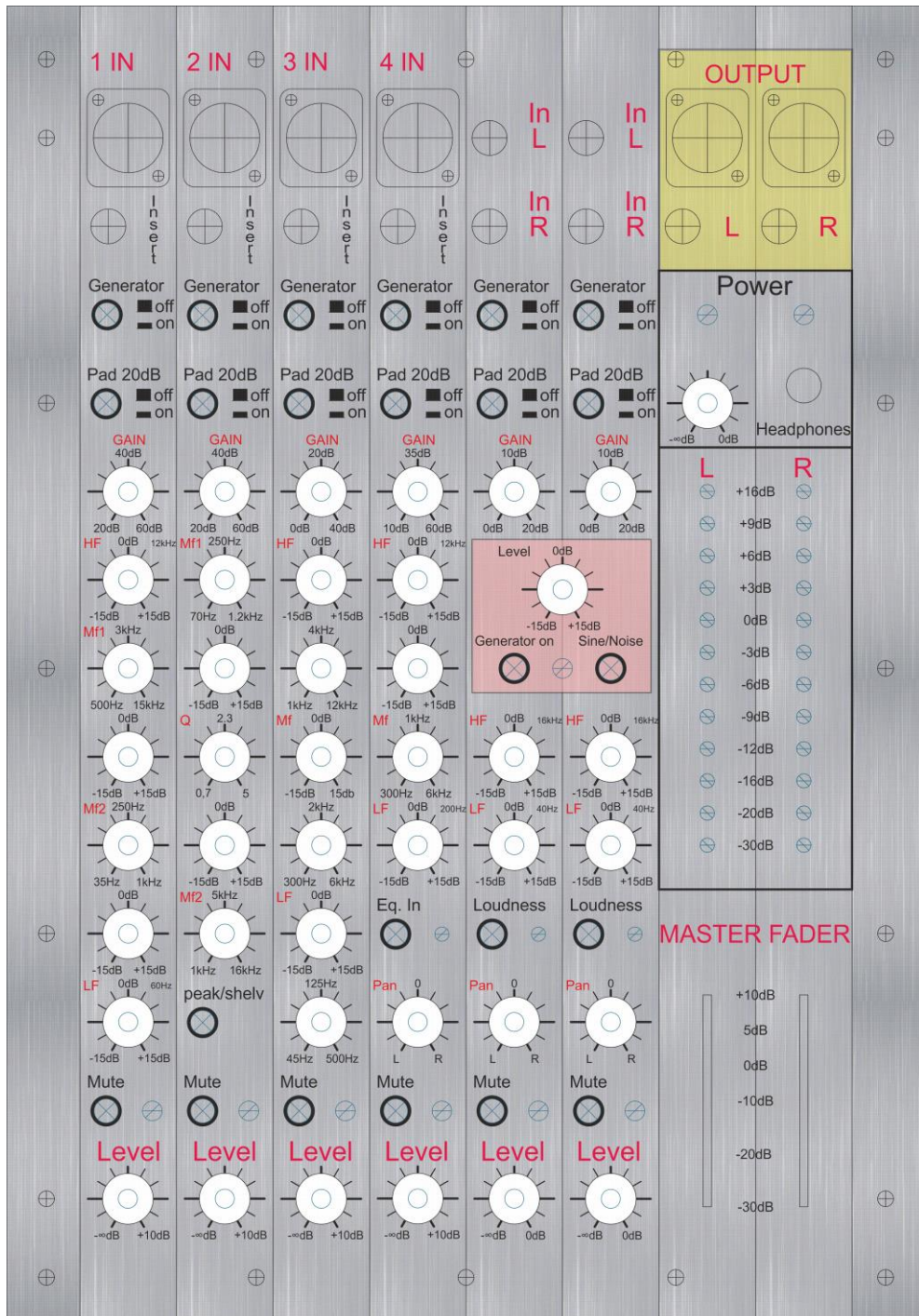
Boční díly jsou navrženy do tvaru písmene U, neboť rapidně zvýšíme pevnost celé konstrukce a nebude docházet k prohýbání hlavního panelu. Všechny desky budou smontovány metrickými šrouby M5, které budou procházet přes hlavní panel, boční desky až do spodní desky. Spojení bude zakončovat matice M5 s plastovým kroužkem. Ke spodní desce budou namontovány gumové nožičky, pro lepší stabilitu. Výsledná podoba návrhu šasi včetně ovládacích prvků se nachází na Obr. 3.5.



Obr. 3.5: Výsledná podoba návrhu šasi včetně ovládacích prvků.

### 3.4 Grafické zpracování ovládacího panelu v programu Corel Draw X7.

V předchozí kapitole bylo navrženo šasi včetně ovládacích prvků. Dalším krokem je návrh grafické podoby ovládacího panelu. Zde se ke každému ovládacímu prvku vytvoří grafické pozadí, které přesně definuje jeho funkci.

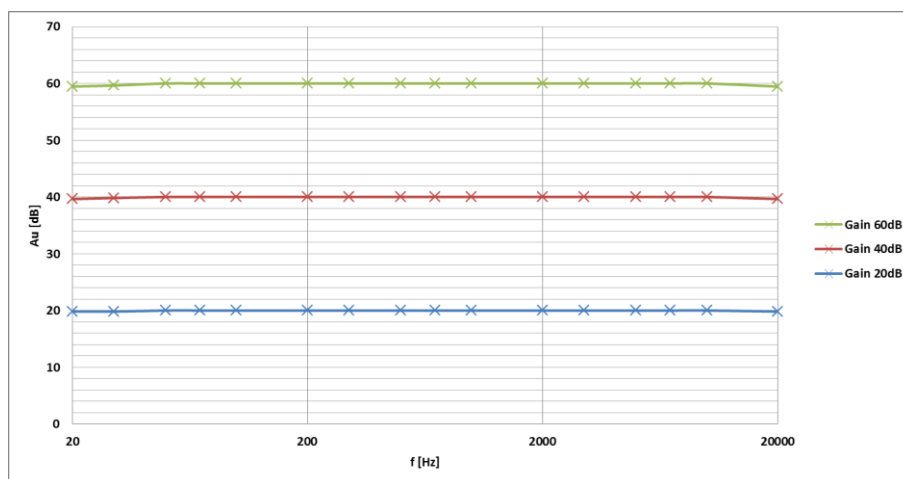


Obr. 3.6: Ovládací panel.

# 4 MĚŘENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU

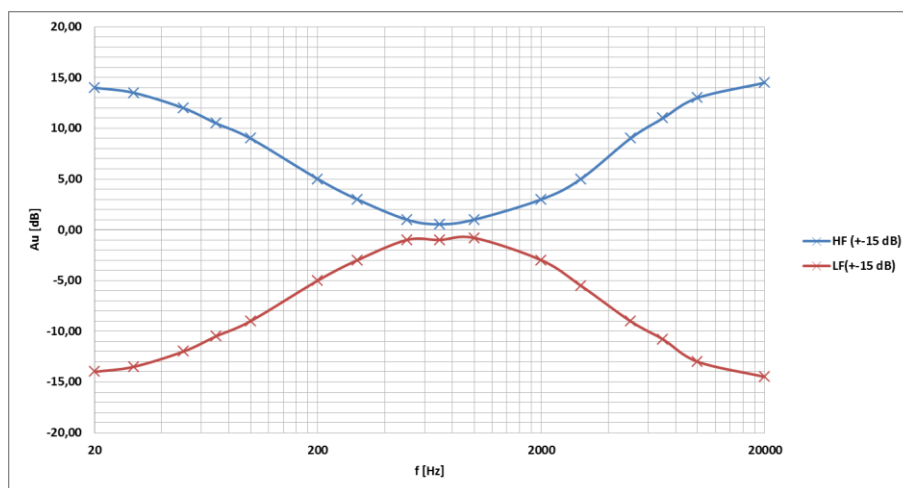
## 4.1 1. Kanál

### 4.1.1 Předzesilovač



Obr. 4.1: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače GL2200.

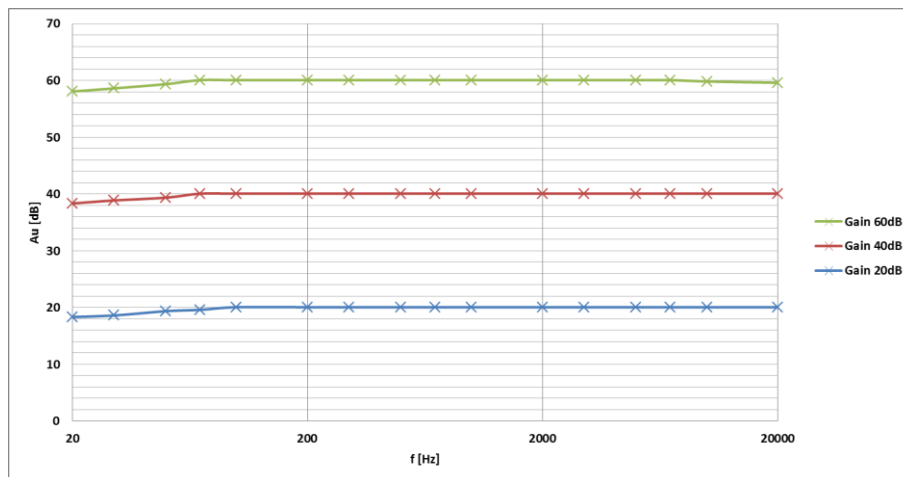
### 4.1.2 Ekvalizér



Obr. 4.2: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru GL2200.

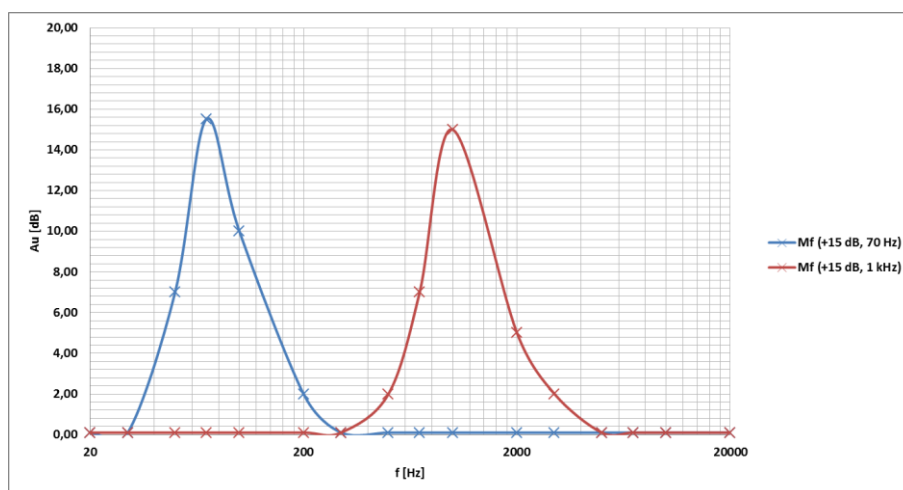
## 4.2 2. Kanál

### 4.2.1 Předzesilovač



Obr. 4.3: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače s AD797.

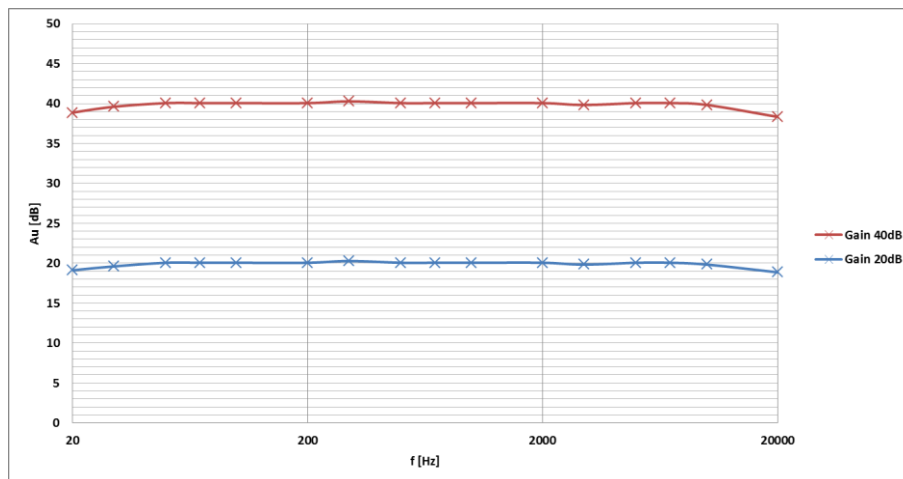
### 4.2.2 Ekvalizér



Obr. 4.4: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 2. kanál.

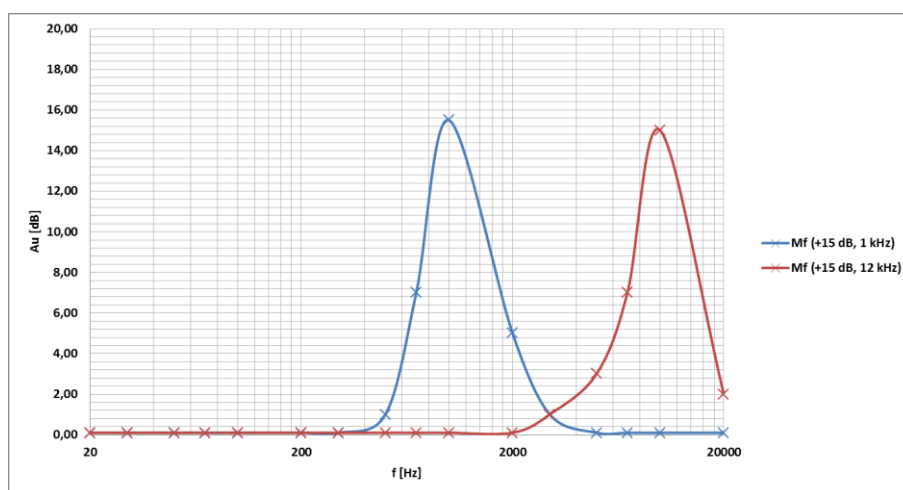
## 4.3 3. Kanál

### 4.3.1 Předzesilovač



Obr. 4.5: Modulová frekvenční charakteristika diskretního předzesilovače.

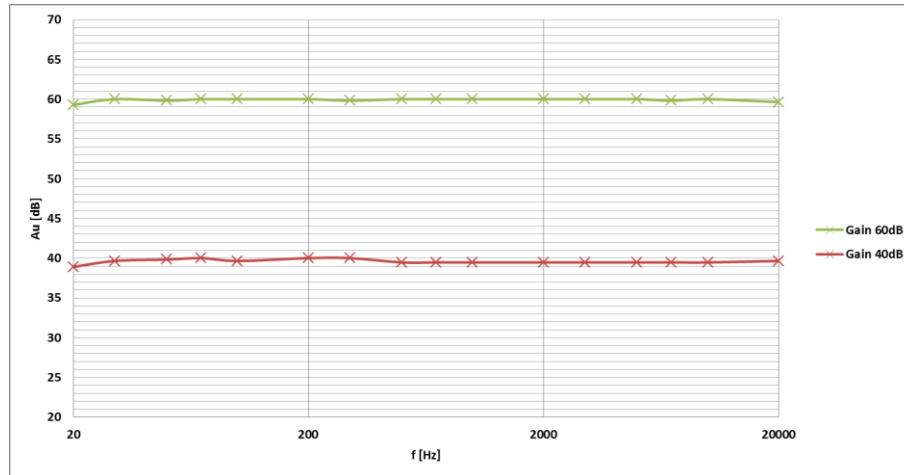
### 4.3.2 Ekvalizér



Obr. 4.6: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 3. kanál.

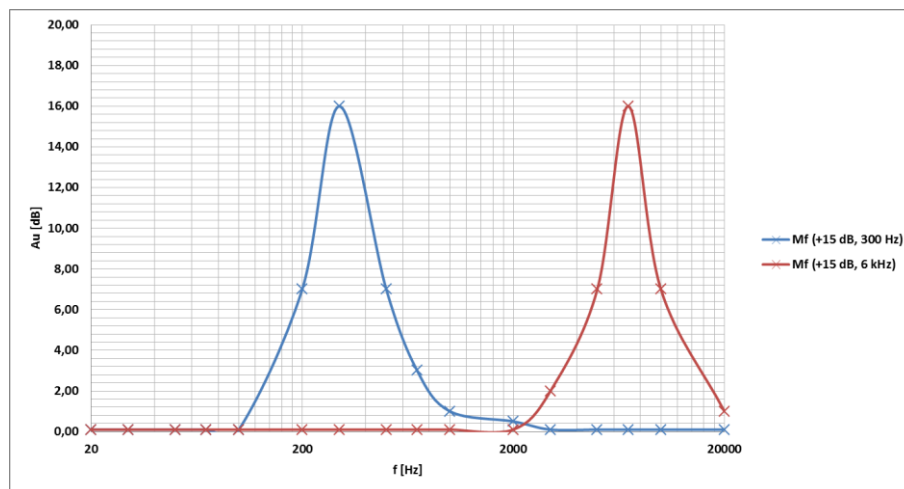
## 4.4 4. Kanál

### 4.4.1 Předzesilovač



Obr. 4.7: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače s SSM2019.

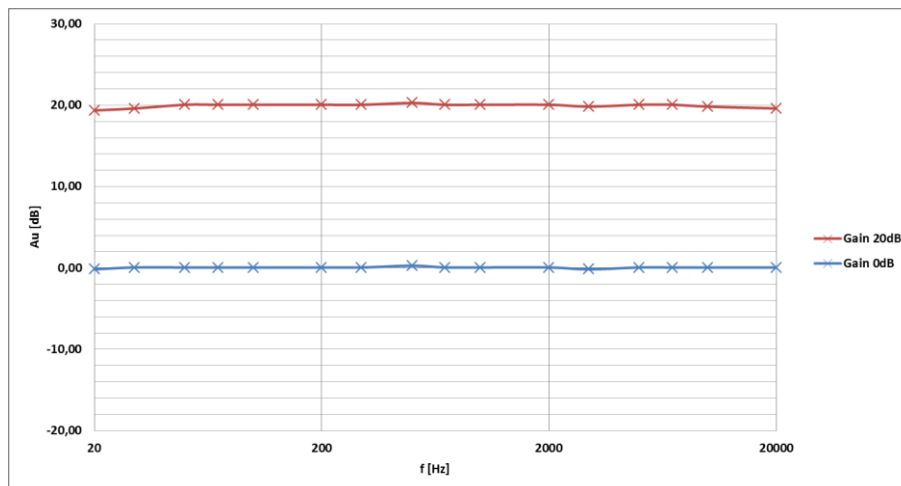
### 4.4.2 Ekvalizér



Obr. 4.8: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru, 4. kanál.

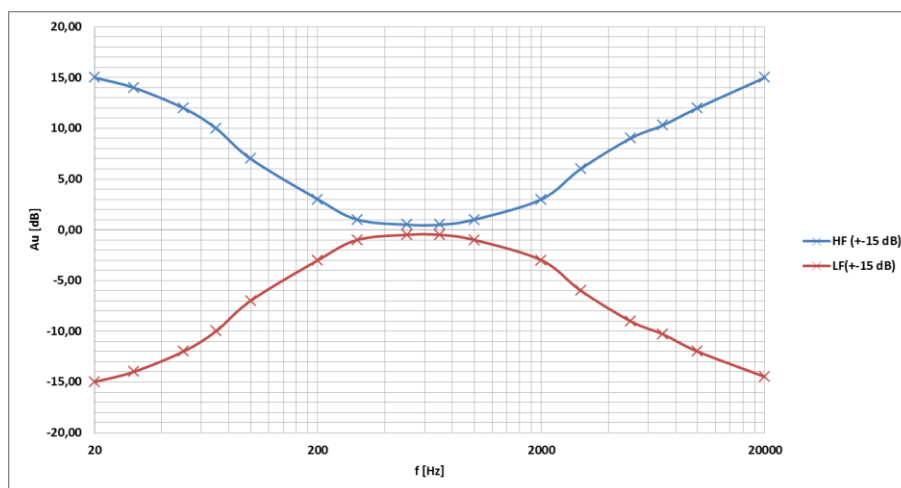
## 4.5 5./6. Kanál

### 4.5.1 Předzesilovač



Obr. 4.9: Modulová frekvenční charakteristika předzesilovače 5./6. (stejný pro oba stereo kanály).

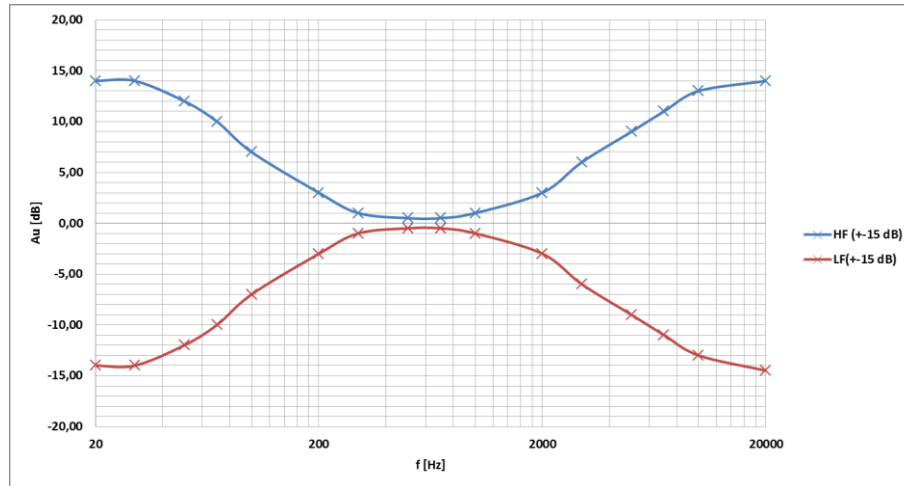
### 4.5.2 Ekvalizér



Obr. 4.10: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru s TDA1524.

## 4.6 7./8. Kanál

### 4.6.1 Ekvalizér

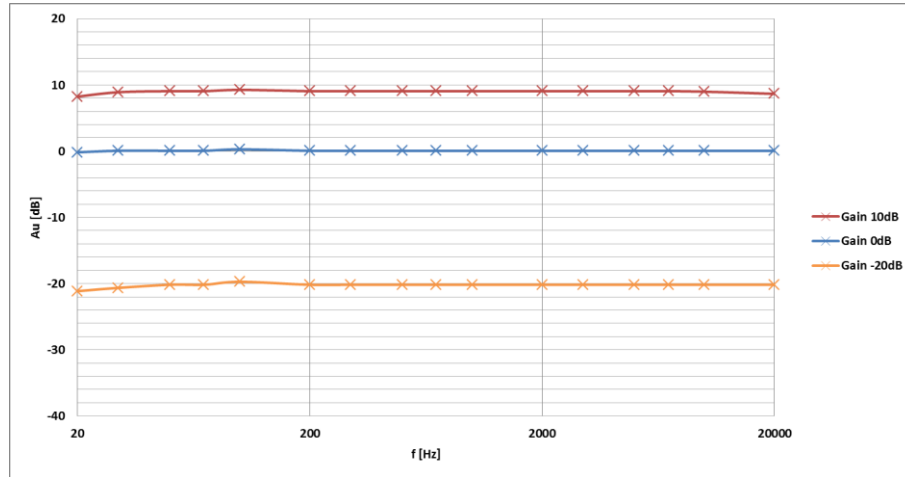


Obr. 4.11: Modulová frekvenční charakteristika ekvalizéru s LM1036.



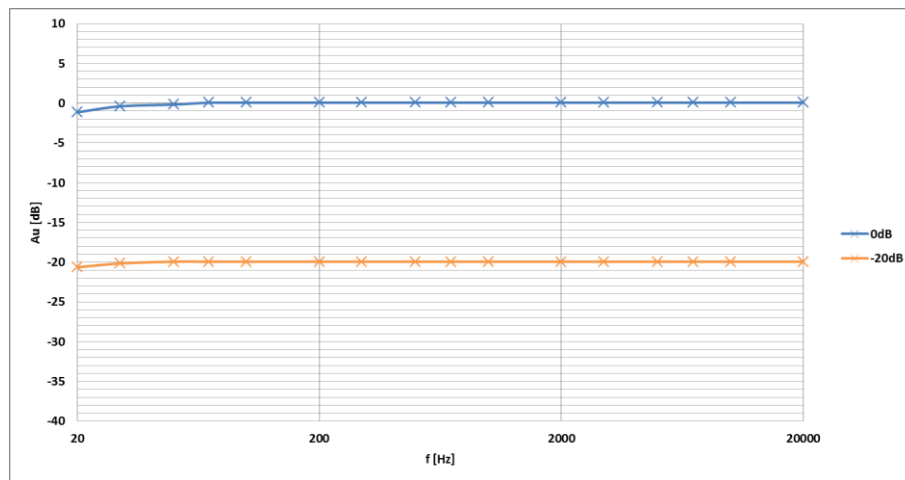
## 4.7 Pomocné obvody

### 4.7.1 Součtový zesilovač



Obr. 4.12: Modulová frekvenční charakteristika součtového zesilovače.

### 4.7.2 Sluchátkový zesilovač



Obr. 4.13: Modulová frekvenční charakteristika sluchátkového zesilovače s TDA152.

# ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření mixážního pultu pro laboratorní výuku. V teoretické části bylo úkolem navrhnout koncepci a obvodová zapojení přípravku. Za úkol bylo vytvořit 4 symetrické mikrofonní vstupy a dva stereo vstupy. Přípravek musí obsahovat sluchátkový zesilovač. Všechny aktivní prvky musí být nízkošumové.

V praktické části je požadováno vytvoření kompletních konstrukčních podkladů pro realizaci (schéma zapojení, návrhy desek plošných spojů, rozložení a soupiska součástek), následně samotná realizace podložena měřením. Dále návrh laboratorní úlohy a její následné změření.

V první kapitole je jednoduše popsána struktura mixážního pultu od vstupních až po výstupní konektory. Je zde také ukázán příklad komerčního řešení mixážního pultu od firmy Allen & Heath.

Druhá kapitola se přímo zabývá návrhem zařízení. V prvním kroku jsou vybrány aktivní prvky použité v mixážním pultu. Důležité parametry shrnuje Tab. 2.1. Dále jsou jednotlivé parametry jednoduše vysvětleny. V dalším kroku jsou popsána vybraná zapojení předzesilovačů a korekčních obvodů. Následuje podkapitola, kde jsou popsány stereo vstupy, které obsahují elektronické ekvalizace. V poslední podkapitole je popsán návrh pomocných obvodů. Mezi tyto obvody patří součtový zesilovač, kde jsou signály ze všech kanálů sloučeny do jednoho (dvou - stereo), dále je zde návrh sluchátkového zesilovače, generátor sinusového signálu a šumu, led indikátor vybuzení, výstupní symetrický zesilovač a v poslední řadě napájecí modul. Pro splnění požadavků bylo nutné navrhnout pouze součtový zesilovač, sluchátkový zesilovač a napájecí modul. Ostatní obvody jsou navrženy nad rámec, pro lepší obsluhu mixážního pultu.

V třetí kapitole jsou navrženy jednotlivé desky plošných spojů. Tato kapitola také obsahuje návrh šasi mixážního pultu v programu Solid Works, výstupem je i úplný render mixážního pultu (Obr. 3.5). Kapitola obsahuje i návrh grafického pozadí pro snadnější obsluhu. Tento návrh je vytvořen v programu Corel Draw X7. Výslednou podobu vyobrazuje Obr. 3.6. Jsou zde uvedeny i obrázky osazených desek plošných spojů.

Ve čtvrté kapitole je provedeno měření jednotlivých částí zapojení. Všechna zapojení jsou postupně proměřována a změřené parametry srovnány se simulacemi. U všech částí se simulace s určitou tolerancí shodují se simulacemi.

Navržená laboratorní úloha se nachází v příloze G. V příloze H je umístěn vzorový protokol o měření.

Všechny body zadání byly splněny. Nad rámec zadání je návrh indikátoru vybuzení, generátoru sinus/šum a návrh výstupního symetrického zesilovače. U těchto obvodů je proveden pouze návrh bez realizace DPS. Je však s nimi počítáno a v dohledné době budou realizované.

# LITERATURA

- [1] AD797, Datasheet [online], Analog Devices, 2014 Dostupné na [www: http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD797.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD797.pdf).
- [2] Advanced mixer circuit. [online]. [cit. 2014-12-07]. Dostupné na [www: http://www.all-electric.com/schematic/mix-eq.htm](http://www.all-electric.com/schematic/mix-eq.htm).
- [3] Allen & Heath GL2200 Servise manual [online], Allen & Heath, 1999. Dostupné na [www: http://www.allen-heath.com/media/GL2200-SERVICE-MANUAL.pdf](http://www.allen-heath.com/media/GL2200-SERVICE-MANUAL.pdf).
- [4] LM1036, Datasheet [online], Texas Instruments, 2014. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1036.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1036.pdf).
- [5] Low noise microphone. [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné na [www: http://sound.westhost.com/project13.htm](http://sound.westhost.com/project13.htm).
- [6] NE5532, Datasheet [online], Texas Instruments, 2014. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne5532.pdf).
- [7] OPA1642, Datasheet [online], Texas Instruments, 2014. Dostupné na [www: http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/opa1644.pdf](http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/opa1644.pdf).
- [8] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002.
- [9] SELF, Douglas. *Small signal audio design*. 1st pub. Oxford: Focal Press, 2010.
- [10] SSM2019, Datasheet [online], Analog Devices, 2014. Dostupné na [www: http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/SSM2019.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/SSM2019.pdf).
- [11] TDA152, Datasheet [online], Texas Instruments, 2014. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa152.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa152.pdf).
- [12] TDA1524, Datasheet [online], Phillips, 2014. Dostupné na [www: http://www.mouser.com/ds/2/302/TDA1524A\\_CNV\\_2-13575.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/302/TDA1524A_CNV_2-13575.pdf).
- [13] TL072, Datasheet [online], Texas Instruments, 2014. Dostupné na [www: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl072.pdf](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl072.pdf).
- [14] WIRSUM, Siegfried. *Abeceda NF techniky*. 1. vyd. Praha: BEN, 1997.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

AUX	Auxiliary out, pomocný výstup
DPS	Deska plošných spojů
$f$	Signál v časové oblasti
$F$	Šumové číslo
Ch. S.	Chanel strip
MP	Mixážní pult
OZ	Operační zesilovač
THD	Total harmonic distortion, úroveň harmonického zkreslení
TR	Transformátor
VU metr	Volume unit meter, indikátor úrovně vybuzení.

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Schémata zapojení</b>	<b>37</b>
A.1	1. Kanál: předzesilovač.....	37
A.2	1. Kanál ekvalizér .....	38
A.3	2. Kanál: předzesilovač.....	39
A.4	2. Kanál: ekvalizér .....	40
A.5	3. Kanál: předzesilovač.....	41
A.6	3. Kanál: ekvalizér .....	42
A.7	4. Kanál: předzesilovač.....	43
A.8	4. Kanál: ekvalizér .....	44
A.9	5./6. Kanál: předzesilovač.....	45
A.10	5./6. Kanál: ekvalizér .....	46
A.11	7./8. Kanál: ekvalizér .....	47
<b>B</b>	<b>Výsledky simulací</b>	<b>48</b>
B.1	1. Kanál: frekvenční analýza předzesilovače.....	48
B.2	1. Kanál: modulová frekvenční analýza ekvalizéru.....	49
B.3	2. Kanál: frekvenční analýza předzesilovače.....	50
B.4	2. Kanál: modulová frekvenční analýza ekvalizéru.....	51
B.5	3. Kanál: frekvenční analýza předzesilovače.....	52
B.6	3. Kanál: modulová frekvenční analýza ekvalizéru.....	53
B.7	4. Kanál: frekvenční analýza předzesilovače.....	54
B.8	4. Kanál: modulová frekvenční analýza ekvalizéru.....	55
B.9	5/6 Kanál: modulová frekvenční analýza předzesilovače.....	56
B.10	Pomocné obvody: frekvenční analýza součtového zesilovače .....	57
B.11	Pomocné obvody: časová analýza generátoru .....	57
<b>C</b>	<b>Návrhy DPS</b>	<b>58</b>
C.1	1. Kanál: předzesilovač (top).....	58
C.2	1. Kanál: předzesilovač (bottom).....	58
C.3	1. Kanál: ekvalizér (top) .....	59
C.4	1. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	60
C.5	2. Kanál: předzesilovač (top).....	61

C.6	2. Kanál: předzesilovač (bottom).....	61
C.7	2. Kanál: ekvalizér (top) .....	62
C.8	2. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	63
C.9	3. Kanál: předzesilovač (bottom).....	64
C.10	3. Kanál: ekvalizér (top) .....	65
C.11	3. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	66
C.12	4. Kanál: předzesilovač (top).....	67
C.13	4. Kanál: předzesilovač (bottom).....	67
C.14	4. Kanál: ekvalizér (top) .....	68
C.15	4. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	69
C.16	5./6. Kanál: předzesilovač (top).....	70
C.17	5./6. Kanál: předzesilovač (bottom).....	70
C.18	5./6. Kanál: ekvalizér (top) .....	71
C.19	5./6. Kanál: ekvalizér (bottom).....	71
C.20	7./8. Kanál: ekvalizér (top) .....	72
C.21	7./8. Kanál: ekvalizér (bottom).....	72
C.22	Pomocné obvody: součtový zesilovač (top) .....	73
C.23	Pomocné obvody: sluchátkový zesilovač (bottom) .....	73
C.24	Pomocné obvody: napájecí modul (top).....	74
<b>D</b>	<b>osazovací plány</b>	<b>75</b>
D.1	1. Kanál: předzesilovač (top).....	75
D.2	1. Kanál: předzesilovač (bottom).....	75
D.3	1. Kanál: ekvalizér (top) .....	76
D.4	1. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	77
D.5	2. Kanál: předzesilovač (top).....	78
D.6	2. Kanál: předzesilovač (bottom).....	78
D.7	2. Kanál: ekvalizér (top) .....	79
D.8	2. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	80
D.9	3. Kanál: předzesilovač (top).....	81
D.10	3. Kanál: ekvalizér (top) .....	82
D.11	3. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	83
D.12	4. Kanál: předzesilovač (top).....	84
D.13	4. Kanál: předzesilovač (bottom).....	84

D.14	4. Kanál: ekvalizér (top) .....	85
D.15	4. Kanál: ekvalizér (bottom) .....	86
D.16	5./6. Kanál: předzesilovač (top) .....	87
D.17	5./6. Kanál: předzesilovač (bottom).....	87
D.18	5./6. Kanál: ekvalizér (top) .....	88
D.19	5./6.: ekvalizér (bottom).....	88
D.20	7./8. Kanál: ekvalizér (top) .....	89
D.21	7./8. Kanál: ekvalizér (bottom).....	89
D.22	Pomocné obvody: součtový zesilovač (top) .....	90
D.23	Pomocné obvody: součtový zesilovač (bottom) .....	90
D.24	Pomocné obvody: sluchátkový zesilovač (top) .....	91
D.25	Pomocné obvody: sluchátkový zesilovač (bottom) .....	91
D.26	Pomocné obvody: napájecí modul (top) .....	92
D.27	Pomocné obvody: napájecí modul (bottom).....	92
<b>E</b>	<b>Seznam součástek</b>	<b>93</b>
E.1	1. Kanál: předzesilovač .....	93
E.2	1. Kanál: ekvalizér .....	94
E.3	2. Kanál: předzesilovač .....	95
E.4	2. Kanál: ekvalizér .....	96
E.5	3. Kanál: předzesilovač .....	97
E.6	3. Kanál: ekvalizér .....	98
E.7	4. Kanál: předzesilovač .....	99
E.8	4. Kanál: ekvalizér .....	100
E.9	5./6. Kanál: předzesilovač.....	101
E.10	5./6. Kanál: ekvalizér .....	102
E.11	7./8. Kanál: ekvalizér .....	103
E.12	Pomocné obvody: součtový zesilovač .....	104
E.13	Pomocné obvody: sluchátkový zesilovač .....	105
E.14	Pomocné obvody: napájecí modul.....	106
<b>F</b>	<b>Fotodokumentace</b>	<b>107</b>
F.1	Vnitřní uspořádání a propojení jednotlivých DPS .....	107
F.2	Hotový přípravek .....	108

**G Protokol laboratorní úlohy (bez označení)**

**H Vzorové měření laboratorní úlohy (bez označení)**