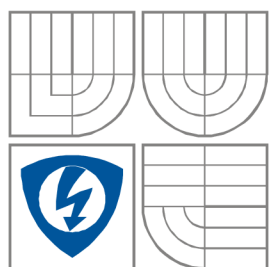


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# MIXÁŽNÍ PULT S INTEGROVANÝM MIKROFONNÍM PŘEDZESILOVAČEM

MIXING AUDIO CONSOLE WITH MICROPHONE PREAMPLIFIER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Václav Mecerod

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Václav Mecerod

**ID:** 125540

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

## NÁZEV TÉMATU:

### Mixážní pult s integrovaným mikrofonním předzesilovačem

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete mixážní pult pro domácí reprodukci, který by integroval mikrofonní předzesilovač s nastavitelnou citlivostí a indikací vybuzení, korekční 4 pásmový zesilovač a dále linkový vstup pro externí audio zařízení. Výstup mixážního pultu by měl obsahovat sluchátkový nízkošumový zesilovač a pomocný linkový výstup. V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek atd.). Navržené zařízení realizujte formou funkčního prototypu a experimentálním měření v laboratoři nízkofrekvenční elektroniky ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

[2] KOTISA, Z. NF zesilovače – 1. díl Předzesilovače. BEN – technická literatura, Praha, 2001.

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

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida**

*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 na téma „Mixážní pult s integrovaným mikrofonním předzesilovačem“ se zabývá návrhem audiozařízení pro směšování signálů z různých zdrojů. Po krátkém teoretickém seznámení s problematikou mixážních pultů, je navrženo blokové schéma a obvodová schémata jednotlivých částí. Ta jsou překreslena do programu OrCAD Capture a pomocí softwaru PSpice jsou provedeny simulace. Konfigurace navrhovaného pultu je následující: Dva symetrické mikrofonní vstupy s přepínatelnou citlivostí, s možností provedení korekcí pomocí čtyřpásmového ekvalizéru s přeladitelnými středy a nastavitelným zpožděním. Jeden vstup linkové úrovně a jeden nástrojový vstup s možností korekce ve třech pásmech. Výstupní část je tvořena sluchátkovým a linkovým výstupem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Mixážní pult, předzesilovač, ekvalizér, zpoždění.

## **ABSTRACT**

Bachelor's thesis on the theme "Mixing audio console with microphone preamplifier" deals with the design of an audio device for mixing signals from different sources. After a short theoretical introduction to issues mixing audio consoles, block diagram and circuit diagrams of each part are designed. These are redrawn into OrCAD Capture and using software PSpice simulations are performed. Configuration of the proposed mixing audio console is as follows: Two microphone preamplifiers with true differential inputs with switchable sensitivity, with the quad-band equalizer with tunable mid bands and adjustable delay. One line level input and one instrument input with three bands corrector. The output section consists of headphone and line level out.

## **KEYWORDS**

Mixing audio console, preamplifier, equalizer, delay.

---

Mecerod, V. *Mixážní pult s integrovaným mikrofonním předzesilovačem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 31 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Mixážní pult s integrovaným mikrofonním předzesilovačem* 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. Tomáš Kratochvíl, 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>viii</b> |
| <b>Úvod</b>   | <b>1</b>    |
| <b>1 Teoretický rozbor</b>                              | <b>2</b>    |
| <b>2 Návrh blokového schématu mixážního pultu</b>       | <b>3</b>    |
| <b>3 Obvodové řešení mixážního pultu</b>                | <b>5</b>    |
| 3.1 Obvodové řešení mikrofonního předzesilovače.....    | 5           |
| 3.2 Obvodové řešení sedmipásmového ekvalizéru .....     | 9           |
| 3.3 Obvodové řešení zpožďovacího členu .....            | 13          |
| 3.4 Obvodové řešení třípásmového ekvalizéru.....        | 16          |
| 3.5 Obvodové řešení slučovacího členu .....             | 19          |
| 3.6 Obvodové řešení sluchátkového zesilovače .....      | 21          |
| 3.7 Obvodové řešení panoramy a regulace úrovně .....    | 23          |
| 3.8 Obvodové řešení indikátorů.....                     | 23          |
| <b>4 Konstrukční řešení mixážního pultu</b>             | <b>25</b>   |
| 4.1 Konstrukční řešení mikrofonního předzesilovače..... | 25          |
| 4.2 Konstrukční řešení sedmipásmového ekvalizéru .....  | 26          |
| 4.3 Konstrukční řešení zpožďovacího členu .....         | 29          |
| 4.4 Konstrukční řešení třípásmového ekvalizéru.....     | 31          |
| 4.5 Konstrukční řešení slučovacího členu .....          | 32          |
| 4.6 Konstrukční řešení sluchátkového zesilovače .....   | 36          |
| 4.7 Konstrukční řešení indikátorů.....                  | 37          |
| 4.8 Konstrukční řešení horního panelu .....             | 39          |
| <b>5 Měření mixážního pultu</b>                         | <b>40</b>   |
| 5.1 Měření mikrofonního předzesilovače.....             | 41          |
| 5.2 Měření sedmipásmového ekvalizéru .....              | 43          |
| 5.3 Měření třípásmového ekvalizéru.....                 | 50          |
| 5.4 Měření zpožďovacího členu .....                     | 54          |
| 5.5 Měření sluchátkového zesilovače.....                | 56          |
| 5.6 Zhodnocení výsledků měření .....                    | 58          |

---

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>6 Závěr</b>         | <b>59</b> |
| <b>Literatura</b>      | <b>60</b> |
| <b>Přílohy</b>         | <b>61</b> |
| A Seznam součástí..... | 61        |
| B Horní panel .....    | 65        |
| C Fotodokumentace..... | 66        |

---

# SEZNAM OBRÁZKŮ

|  |    |
|--|----|
| Obr. 1: Hlavní části mixážního pultu .....   | 2  |
| Obr. 2: blokové schéma zapojení mixážního pultu .....  | 4  |
| Obr. 3: Funkční blokové schéma integrovaného mikrofonního předzesilovače SSM2019<br>převzato z [6] .....                             | 6  |
| Obr. 4: Schéma zapojení mikrofonního předzesilovače .....  | 7  |
| Obr. 5: Průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky mikrofonního předzesilovače   | 8  |
| Obr. 6: Průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky mikrofonního předzesilovače<br>při rozmítání hodnoty odporu $R_G$ ..... | 8  |
| Obr. 7: Schéma zapojení čtyřpásmového ekvalizéru s dojitými parametrickými středy .....  | 10 |
| Obr. 8: Sériový RLC obvod .....  | 11 |
| Obr. 9: Realizace RLC obvodu se syntetickou indukčností .....  | 11 |
| Obr. 10: Schéma zapojení sedmipásmového ekvalizéru .....   | 12 |
| Obr. 11: Schematické násobení odrazů v místnosti .....   | 13 |
| Obr. 12: Obvodové schéma zapojení echo procesoru PT2399. ....  | 15 |
| Obr. 13: Schéma zapojení třípásmového ekvalizéru .....   | 17 |
| Obr. 14: Simulace třípásmového ekvalizéru – horní a dolní propust .....  | 18 |
| Obr. 15: Simulace třípásmového ekvalizéru – střední pásmo .....  | 18 |
| Obr. 16: Simulace třípásmového ekvalizéru – všechna pásma .....  | 19 |
| Obr. 17: Schéma zapojení slučovacího členu s OZ TL071 .....  | 20 |
| Obr. 18 Schéma zapojení sluchátkového zesilovače TPA6110A2 .....   | 22 |
| Obr. 19 Schéma zapojení panoramy a regulace úrovně .....   | 23 |
| Obr. 20 Schéma zapojení indikátorů .....   | 24 |
| Obr. 21 DPS mikrofonního předzesilovače (TOP) (75x90)mm, M1:1 .....  | 25 |
| Obr. 22 DPS mikrofonního předzesilovače (BOTTOM) (75x90)mm, M1:1 .....   | 26 |
| Obr. 23 Osazovací plán mikrofonního předzesilovače (75x90)mm, M1:1 .....   | 26 |
| Obr. 24 DPS sedmipásmového ekvalizéru (TOP) (105x70)mm, M1:1 .....   | 27 |
| Obr. 25 DPS sedmipásmového ekvalizéru (BOTTOM) (105x70)mm, M1:1 .....  | 28 |
| Obr. 26 Osazovací plán sedmipásmového ekvalizéru (105x70)mm, M1:1 .....  | 29 |
| Obr. 27 DPS zpožďovacího členu (TOP) (95x64)mm, M1:1 .....   | 30 |
| Obr. 28 DPS zpožďovacího členu (BOTTOM) (95x64)mm, M1:1 .....  | 30 |
| Obr. 29 Osazovací plán zpožďovacího členu (95x64)mm, M1:1 .....  | 31 |
| Obr. 30 DPS třípásmového ekvalizéru (TOP) (135x45)mm, M1:1 .....   | 31 |

---

|  |    |
|--|----|
| Obr. 31 DPS třípásmového ekvalizéru (BOTTOM) (135x45)mm, M1:1 .....  | 32 |
| Obr. 32 Osazovací plán třípásmového ekvalizéru (135x45)mm, M1:1 .....                                      | 32 |
| Obr. 33 DPS součtového členu (TOP) (200x50)mm, M1:1 .....  | 33 |
| Obr. 34 DPS součtového členu (BOTTOM) (200x50)mm, M1:1 .....   | 34 |
| Obr. 35 Osazovací plán součtového členu (200x50)mm, M1:1 .....   | 35 |
| Obr. 36 DPS sluchátkového zesilovače (TOP) (125x55)mm, M1:1 .....  | 36 |
| Obr. 37 DPS sluchátkového zesilovače (BOTTOM) (125x55)mm, M1:1 .....                                       | 36 |
| Obr. 38 Osazovací plán sluchátkového zesilovače (125x55)mm, M1:1 .....                                     | 37 |
| Obr. 39 DPS indikátorů (TOP) (140x70)mm, M1:1 .....  | 38 |
| Obr. 40 DPS indikátorů (BOTTOM) (140x70)mm, M1:1 .....   | 38 |
| Obr. 41 Osazovací plán indikátorů (140x70)mm, M1:1 .....   | 39 |
| Obr. 42 Frekvenční přenosová modulová charakteristika mikrofonního předzesilovači –<br>citlivost 1 mV..... | 41 |
| Obr. 43 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sedmipásmového ekvalizéru<br>(jednotlivá pásma)..... | 43 |
| Obr. 44 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sedmipásmového ekvalizéru<br>(celkový přenos).....   | 46 |
| Obr. 45 Frekvenční přenosová modulová charakteristika třípásmového ekvalizéru (jednotlivá<br>pásma).....   | 50 |
| Obr. 46 Frekvenční přenosová modulová charakteristika třípásmového ekvalizéru (celkový<br>přenos) .....    | 51 |
| Obr. 47 Frekvenční přenosová modulová charakteristika zpožďovacího členu .....                             | 54 |
| Obr. 48 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sluchátkového zesilovače .....                       | 56 |
| Obr. 49 Zrcadlený návrh horního panelu M1:2 .....  | 65 |
| Obr. 50 Osazená deska plošných spojů mikrofonního předzesilovače .....                                     | 66 |
| Obr. 51 Osazená deska plošných spojů sedmipásmového ekvalizéru.....  | 66 |
| Obr. 52 Osazená deska plošných spojů třípásmového ekvalizéru .....   | 67 |
| Obr. 53 Osazená deska plošných spojů slučovacího členu.....  | 67 |
| Obr. 54 Osazená deska plošných spojů sluchátkového zesilovače .....  | 68 |
| Obr. 55 Leptání desky horního panelu .....   | 69 |

---

# ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je návrh mixážního pultu s integrovaným mikrofonním zesilovačem pro směšování audiosignálů z různých zdrojů. Cílem je návrh směšovacího pultu, vyhovujícího požadavkům malých hudebních seskupení, nebo amatérských hráčů s potřebou frekvenčně a časově upravovat, zaznamenávat a reprodukovat vlastní hudbu. S uvážením těchto hledisek byl počet vstupů zvolen na 2 mikrofonní vstupy s nastavitelnou citlivostí a možností čtyřpásmových korekcí. Dále dva stereofonní linkové vstupy, z toho jeden vstup je určen pro připojení elektronického hudebního nástroje. Další vstup je určen pro případné rozšíření o externí blok. Výstupní část tvoří sluchátkový zesilovač a výstup linkové úrovně s indikací vybuzení.

V oficiálním zadání byly pro zimní semestr vzneseny požadavky na návrh blokového schématu a obvodových schémat jednotlivých částí.

V letním semestru bylo zadáno vytvoření kompletní konstrukční dokumentace, zhotovení funkčního prototypu, odměření a vyhodnocení jeho vlastností.

V první kapitole je popsána obecná problematika mixážních pultů. Je zde uvedeno, co je mixážní pult, z jakých základních částí se skládá a jaké funkce má splňovat.

Druhá kapitola se zabývá návrhem blokového schématu mixážního pultu. Je zde vyobrazeno blokové schéma celého zařízení a vzneseny přesné požadavky co má pult obsahovat.

Třetí kapitola řeší návrhy a simulace obvodových schémat jednotlivých funkčních bloků.

Čtvrtá kapitola obsahuje kompletní konstrukční podklady, skládající se z návrhu desek plošných spojů, osazovacích plánů a seznamů součástek.

Pátá kapitola je zaměřena na ověření funkčnosti zhotoveného prototypu a ověření předpokládaných parametrů.



---

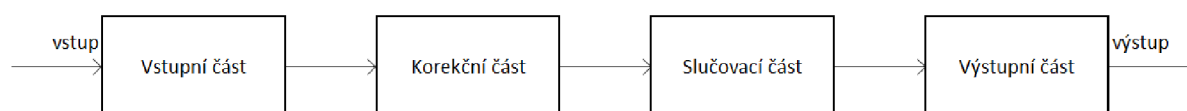
# 1 TEORETICKÝ ROZBOR

Mixážní pult (mixing console) je podle [1,2,3] audio zařízení, jehož základní funkce spočívají v úpravě a následném smíchání různých zdrojů signálu (například z mikrofону, gramofonu, či linkových vstupů jako CD přehrávače, PC atd.), bez toho aniž by docházelo k vzájemnému ovlivňování jednotlivých signálů. Výstupní signál z takového zařízení se potom při živých aplikacích (koncerty apod.) použije pro ozvučení, v případě rozhlasu, či televize bude vyzářen vysílačem do éteru, v nahrávacích studiích může sloužit pro záznam na některé z mnoha záznamových médií. Často jsou mixážní pulty používány k rozšíření počtu vstupů stávajícího zařízení.

Pro každé z těchto využití je požadován specifický typ mixážního pultu. Ty se dále mohou dělit podle náročnosti aplikace (podle počtu a typu vstupů, počtu pásem korekční části, počet a úroveň výstupů, nebo zda-li jsou potřeba monitorovací výstupy atd.). U profesionálních směšovacích pultů se navíc vyžaduje možnost změny konfigurace dle potřeby. Například, aby bylo možné na libovolný vstup připojit libovolný akustický zdroj, od mikrofónů až po vysokoúrovňové zdroje (magnetofon, tuner a další).

Nejenže mixážní pulty mají funkci slučovací, ale také funkci rozdělovací. To znamená, že v některých aplikacích je mimo posílání signálu ze vstupních na výstupní části potřeba, aby byla možnost jej různými způsoby směřovat, popřípadě mohlo být provedeno jeho vyvedení z pultu či paralelní odbočení na další přídavný fyzický výstup ještě před samotným směšováním. To se provádí zařazením různých sběrnic do mixážního pultu např. efektová sběrnice, monitorová sběrnice a další pomocné sběrnice. Každá ze zmíněných sběrnic obvykle má (ale také nemusí mít) vyvedený zvláštní fyzický výstup linkové úrovně.

Mixážní pult je možné rozčlenit na čtyři samostatné funkční bloky. Vstupní, korekční, slučovací část a výstupní část (Obr. 1).



Obr. 1: Hlavní části mixážního pultu

Vstupní část upravuje vstupní signály z různých zdrojů na požadovanou úroveň. Mnohdy z nízko napěťových zdrojů (řádově milivolty) na optimální úroveň, často na tak zvanou linkovou úroveň (0,775 V). Korekční část signály upravuje ve frekvenční, nebo časové oblasti. Dokáže tak potlačit, či zesílit určité složky signálu a měnit tak výslednou barvu zvuku. Úpravou v časové oblasti lze dosáhnout jiných efektů. Například efekty jako chorus, echo a podobné. Slučovací část má za úkol jednotlivé upravené signály smíchat v určitém poměru do jediného signálu s přesně definovanou úrovní. Výstupní část odesílá signál na fyzické výstupy různých typů.

---

## 2 NÁVRH BLOKOVÉHO SCHÉMATU MIXÁŽNÍHO PULTU

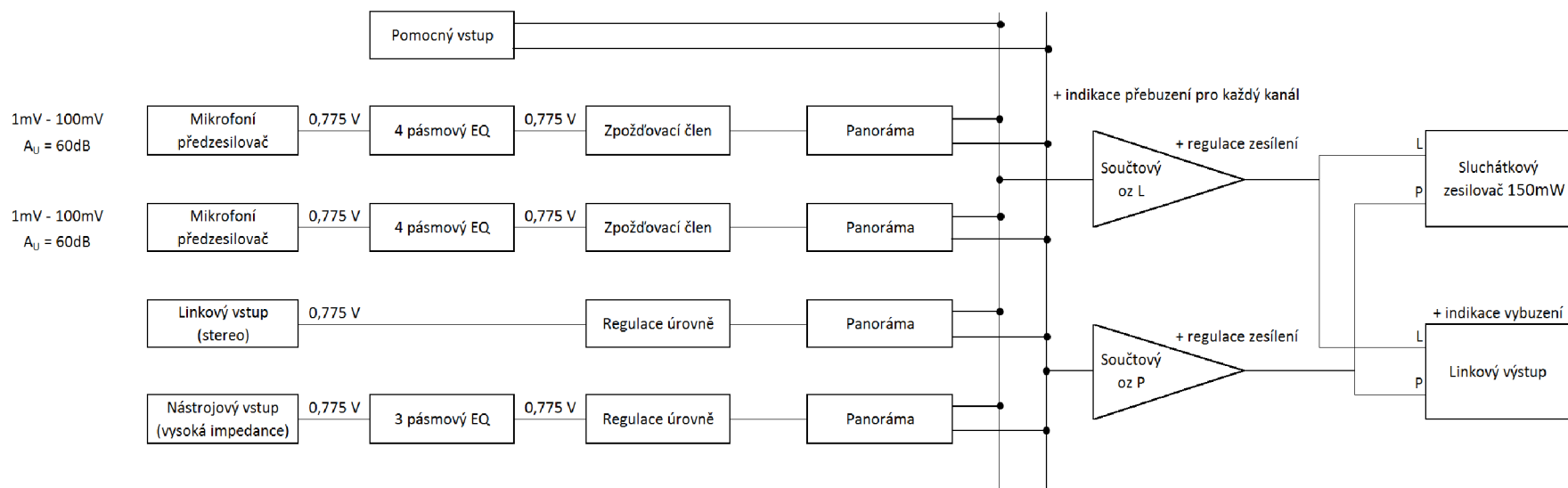
Nejdříve je potřeba ujasnit si a rozvrhnout pro jaké účely bude mixážní pult sloužit, jaké funkce by měl ovládat, a z toho vyplývá, jaké funkční bloky by měl obsahovat. Rozmyslet si, jak moc je potřeba zajistit variabilitu nastavení každé funkční části. Obecně platí, čím více různých nastavení máme k dispozici, tím roste náročnost návrhu i náročnost finanční. Dále jestli se bude jednat o slučovací pult analogový, digitální, nebo o kombinaci těchto dvou. Jestliže blíže specifikujeme určení mixážního pultu, je možné těmto potřebám přizpůsobit samotný návrh. Ale vždy se v první řadě jedná o kompromis mezi univerzálností použití, celkovou cenou samotného zařízení a v neposlední řadě technickou složitostí.

Mixážní pult navrhovaný v této bakalářské práci má pokrýt potřeby malého hudebního seskupení. Jak je vidět na blokovém schématu (Obr. 2), měl by obsahovat dva symetrické mikrofonní vstupy s nastavitelnou citlivostí a zesílením, jeden linkový vstup, jeden nástrojový vstup s možností zařazení vysoké impedance a pomocný vstup umožňující připojení externího bloku obsahující například celou větev mikrofonního vstupu. Dále korekční část. A to dvakrát čtyřpásmový ekvalizér s dvojitými parametrickými středy pro mikrofonní vstupy. Ty jsou ještě doplněny o efektní člen zpoždění, využívaný převážně pro zpracování zpěvu. Do větve nástrojového vstupu je zařazen dvakrát třípásmový ekvalizér (stereo) pro částečné doladění barvy elektronického nástroje. Linkový vstup není potřeba frekvenčně upravovat, zde je vhodné jej opatřit pouze nastavením úrovně hlasitosti. Pro pomocný vstup také nejsou potřeba žádné korekce, protože se předpokládá, že je jimi opatřen externí blok připojující se na tento vstup. Ke každé vstupní větvi je připojena jednoduchá indikace přebuzení. Ta je zabezpečena jednou luminiscenční diodou. Všechny signály odpovídajících stereo kanálů se přivedou do součtového členu vytvořeného operačním zesilovačem. Zde je možnost nastavení úrovně již sloučeného signálu a přivedení na linkový výstup. Dále je možnost využít sluchátkového výstupu pro odposlech výsledného zvukového signálu.

Jistou variabilitu poskytuje výstup linkové úrovně. V kombinaci s výkonovým zesilovačem se dá použít pro ozvučování koncertu, či zkoušek. V případě připojení magnetofonu, počítače, nebo jakéhokoli záznamového média, můžeme pořizovat frekvenčně a časově upravený signál sloučený z více zdrojů.

Jak již bylo řečeno v kapitole 1, jde celý mixážní pult rozdělit na více samostatných bloků. Těmto blokům se budou podrobně věnovat následující kapitoly.

Obr. 2: blokové schéma zapojení mixážního pultu



---

## 3 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU

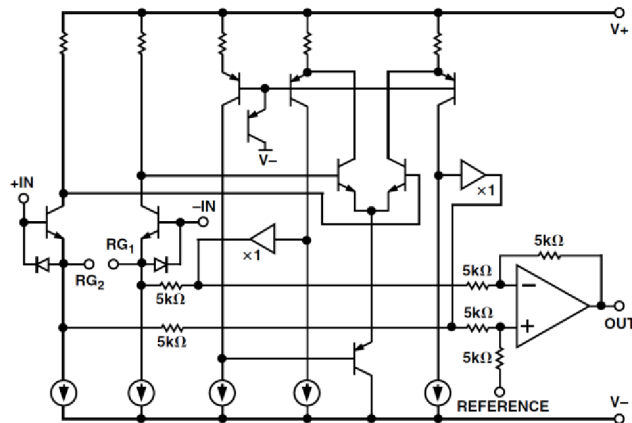
Následující podkapitoly se zaměří na jednotlivé funkční bloky. Na samotné zapojení obvodu a simulaci každé jednotky.

### 3.1 Obvodové řešení mikrofonního předzesilovače

Mikrofonní předzesilovače, podle [4], tvoří samostatnou kapitolu elektronických zapojení. Je to dáno zejména specifickými vlastnostmi mikrofonů. Signál z mikrofonů, který se pohybuje typicky v jednotkách až desítkách mV, je pro použití v audiotechnice velmi slabý. Proto je vyžadováno poměrně velké zesílení. Typický mikrofonní předzesilovač má zisk až 60 dB (tj. 1000 krát). Nízká úroveň signálu spolu s velkým zesílením tak kladou značné nároky na výběr součástek a volbu obvodového řešení. Většinou se jedná o dobře zvolený kompromis mezi kvalitou zvuku, ať už se jedná o odstup užitečného signálu a šumu, nebo jakýkoliv jiný parametr, a cenovou náročností konstrukce.

V praxi se používá symetrické zapojení mikrofonních vstupů. Je to dáno zejména požadavkem na maximální potlačení rušivých signálů. Zejména při živých vystoupeních jsou mikrofony a jejich připojení s mixážním pultem vystaveny velmi silným zdrojům rušení. Příkladem mohou být rušení vznikající na kabelech při spínání velkých výkonů osvětlení. Při symetrickém zapojení mikrofonu je zesilovačem zpracováván pouze rozdílový signál (tedy užitečný). Kdežto rušivý signál, který se na vedení naindukoval v podstatě se stejnou intenzitou a fází do obou živých vstupů, je potlačen. Míra potlačení závisí na shodě vstupních impedancí a zesílení invertujícího a neinvertujícího vstupu mikrofonního zesilovače.

V této bakalářské práci bylo využito integrovaného mikrofonního zesilovače od firmy Analog Devices SSM2019 v pouzdře PDIP8. Jedná se o nejnovější generaci oblíbených integrovaných mikrofonních zesilovačů. Obsahuje kompletní předzesilovač s pravým symetrickým vstupem při použití minima externích součástek. Dle výrobce se vyznačuje velmi nízkým šumem, lineární frekvenční přenosovou modulovou charakteristikou (zesílení je téměř konstantní pro celé audio pásmo). Také velmi nízkým celkovým harmonickým zkreslením ( $THD < 0,01\%$  při zesílení 40dB). Funkční blokový diagram je vidět na Obr. 3. Možnosti využití tohoto obvodu podle výrobce jsou: mixážní pulty, interkomy, sonary, digitální audio systémy, součtové obvody a mnohé další aplikace vyžadující nízký šum vnášený do užitečného signálu. Další výhodou tohoto obvodu je dostupnost a nízká cena (přibližně 2 \$).[6]



Obr. 3: Funkční blokové schéma integrovaného mikrofonního předzesilovače SSM2019 převzato z [6]

Obvodu bylo využito v převzatém schématu publikovaného v časopise Amatérské Rádio v roce 2010 [4]. Zde byl použit místo velmi podobného integrovaného obvodu THAT1510 od výrobce THAT Corporation. Pouzdra i zapojení všech pinů jsou kompatibilní a také jejich parametry jsou dost podobné. Toto schéma bylo dále ještě rozšířeno o možnost nastavení vstupní citlivosti pomocí předřazeného útlumového článku (Obr. 4).

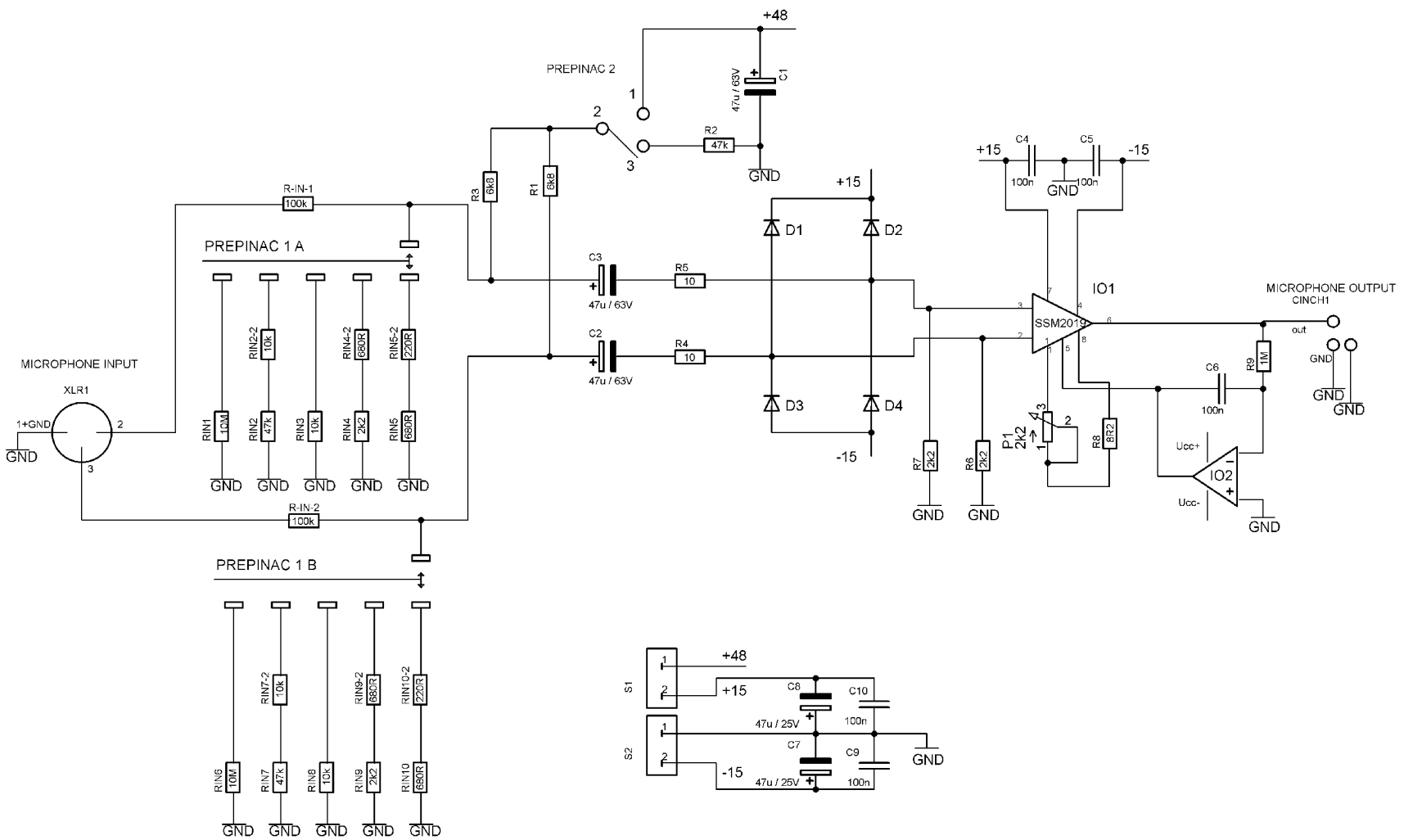
Ke vstupu je možné připojit fantomové napájení +48 V. Vstupy musejí být odděleny pomocí kondenzátorů  $C_2$  a  $C_3$ . Zisk předzesilovače se nastavuje potenciometrem  $R_G$ . Tyto obvody z principu činnosti vykazují malé stejnosměrné napětí na výstupu. To lze omezit vazebním kondenzátorem, nebo jako v tomto případě operačním zesilovačem  $U_2$ , zapojeným jako DC servo. Napájecí napětí jsou  $U_{cc} = \pm 15$  V a pro fantomové napájení  $U_{phantom} = 48$  V.

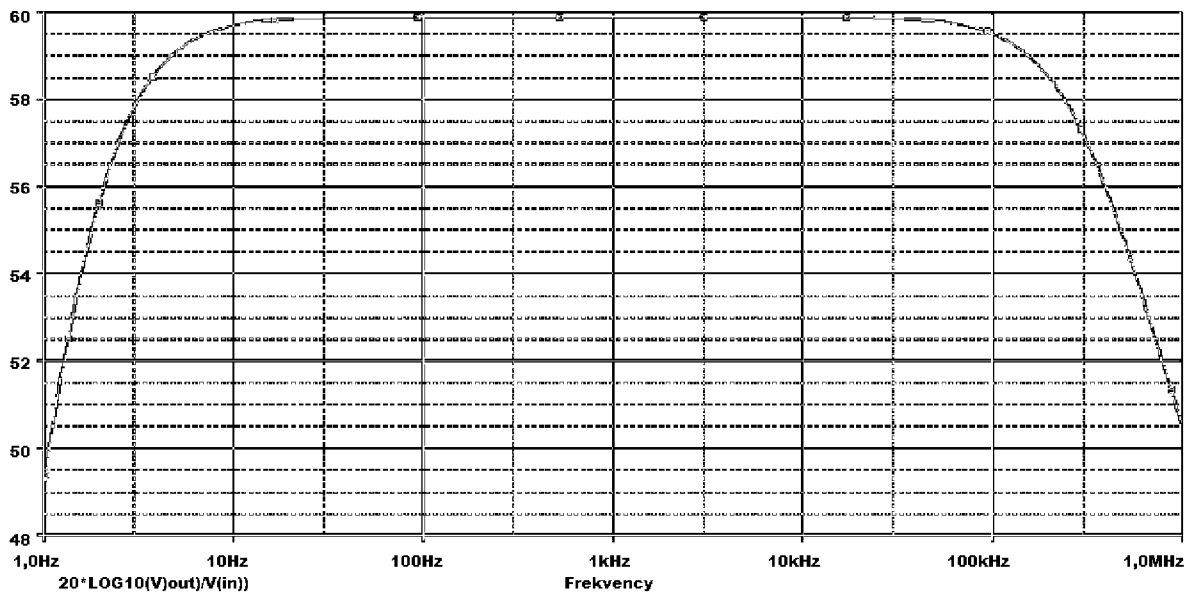
Schéma bylo simulováno v programu OrCAD PSpice. Na obrázku 5 je zobrazený průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky s konstantními hodnotami součástek. Kde  $U_{in}$  je vstupní napětí  $U_{in} = 1$  mV a  $U_{out}$  výstupní napětí, jehož průběh sledujeme při změně frekvence vstupního napětí. Frekvence vstupního napětí je rozmítána v rozsahu od 1 Hz po 1 MHz. Zesílení  $A_u$  je nastaveno na 60 dB. To se vypočte podle vztahu

$$A_{u,dB}(f) = 20 \log \left( \frac{U_{out}}{U_{in}} \right) \quad [dB, V, V]. \quad (1)$$

Tomu odpovídá vytočení logaritmického potenciometru  $P_1$  ovládajícího zesílení mikrofonního předzesilovače na nejnižší hodnotu. Vstupní citlivost je nastavená na hodnotu 1 mV. Z průběhu odečtené mezní frekvence (pro pokles o 3 dB) jsou  $f_{m1} = 2,5$  Hz a  $f_{m2} = 314$  kHz. Při porovnání s teoretickou oblastí slyšitelnosti (16 Hz – 20 kHz) se dá říci, že toto zapojení splňuje nároky na linearitu mikrofonního předzesilovače.

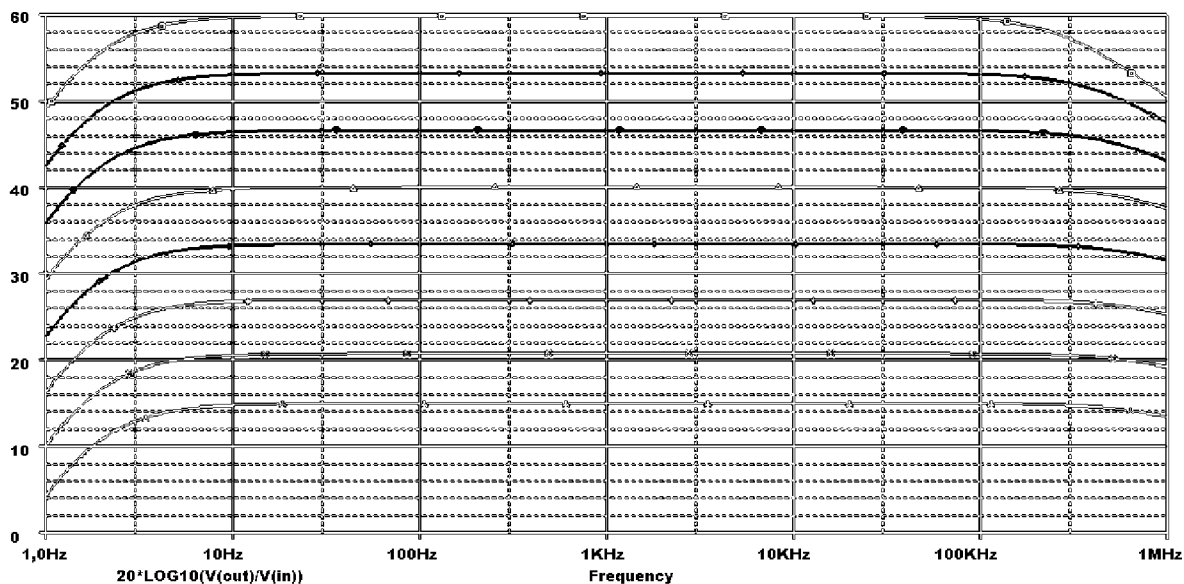
Obr. 4: Schéma zapojení mikrofonního předzesilovače





Obr. 5: Průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky mikrofonního předzesilovače

Na obrázku 6 je vidět průběh simulace frekvenční charakteristiky při změně vytočení potenciometru  $P_1$ . Parametrem rozmitání je tedy odpor samotného potenciometru. Ten je měněn od hodnoty  $P_1+R_8 = 10 \Omega$  do hodnoty  $P_1+R_8 = 2,5 \text{ k}\Omega$ . Je vidět, že na linearitu frekvenční charakteristiky nemá tento parametr vliv. Zesílení  $A_u$  se mění v rozsahu cca 15 dB – 60 dB.



Obr. 6: Průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky mikrofonního předzesilovače při rozmitání hodnoty odporu  $R_G$

Vhodné hodnoty odporů pro změnu citlivosti byly vybrány pomocí simulace v prostředí PSpice. Na výstupu je požadavek na konstantní napětí  $U_{out} = 1 \text{ V}$  při změnách vstupního napětí  $U_{in} = (1, 3, 10, 33, 100) \text{ mV}$ .

---

## 3.2 Obvodové řešení sedmipásmového ekvalizéru

Dalším dílem, kterým prochází signál, jsou korekční obvody. V této části se nabízejí možnosti frekvenčních úprav, to znamená, že je možno libovolně měnit barvu jednotlivých nástrojů, přidávat jim výšky, hloubky a u složitějších systémů i další části zvukového spektra, které přímo souvisí s barvou zvuku.

Při používání korekcí platí jedna důležitá zásada. Rozhodně není nutné používat frekvenčních úprav jen z toho důvodu, že jsou k dispozici na daném kanále. Pokud je zvuk dobrý a nic mu nechybí, co se týká subjektivního posouzení při poslechu, není žádný důvod ničit jeho přirozený charakter a snažit se z něj udělat něco jiného.[3] To může být případ linkového vstupu. Signál přivedený právě na tento vstup bývá z různých CD přehrávačů, počítačů, Mp3 zařízení a dalších podobných. Tato zařízení mívají na výstupu právě linkovou úroveň ( $U_{out} = 0,775 \text{ V}$ ). A také nejspíš zvuk pomocí nich reprodukováný, již prošel korekcemi ve frekvenční oblasti při vytvoření záznamu. Z toho vyplývá, že při použití dalších korekcí se může zvuk znehodnotit.

Podle [1] princip ekvalizéru spočívá v rozdělení celého pásma akustických frekvencí na větší počet částí, ve kterých je možno nezávisle na ostatních nastavit úroveň signálu. Hlavní využití ekvalizéru je:

- vyrovnaní kmitočtové charakteristiky přenosového řetězce, nebo ozvučovaného prostoru
- redukce akustických zpětných vazeb
- zvýšení srozumitelnosti řeči
- úprava zvuků nástrojů.

Též se používá při zvukové režii k dosažení speciálních efektů (hlas z telefonu, nebo z velké vzdálenosti)

Jak uvádí [3] každý ekvalizér, případně korekční zesilovač je tvořen dvěma typy filtru. Horní a dolní propust s různou strmostí. Případně je tvořený kombinací těchto filtrů do pásmové propusti (bandpass), které se též podle charakteristického tvaru křivky říká korekce typu Bell (zvon). Tento korekční obvod působí pouze na jedno pásmo ohraničené horní a dolní mezní frekvencí. Na frekvence ležící nad nebo pod tímto pásmem v podstatě nemá vliv. Jestliže vydělíme frekvenci středu pásma šířkou tohoto pásma, dostaneme číslo známé jako  $Q$  (jakost obvodu). Čím je hodnota jakosti obvodu vyšší, tím je filtr ostřejší. Díky tomu je možné postavit ekvalizéry s takovým počtem jednotlivých pásem a takovou jakostí, že je možné ovlivňovat pásmo frekvencí užší než jeden půltón. V profesionálních zařízeních jsou jednotlivé filtry naladěny buď po oktávách (cca 10 pásem), po půloktávách a nebo po třetinooktávových intervalech (cca 27 pásem). Rozřazení filtrů po oktávách odpovídají hodnoty frekvencí přibližně:

31 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 16kHz.

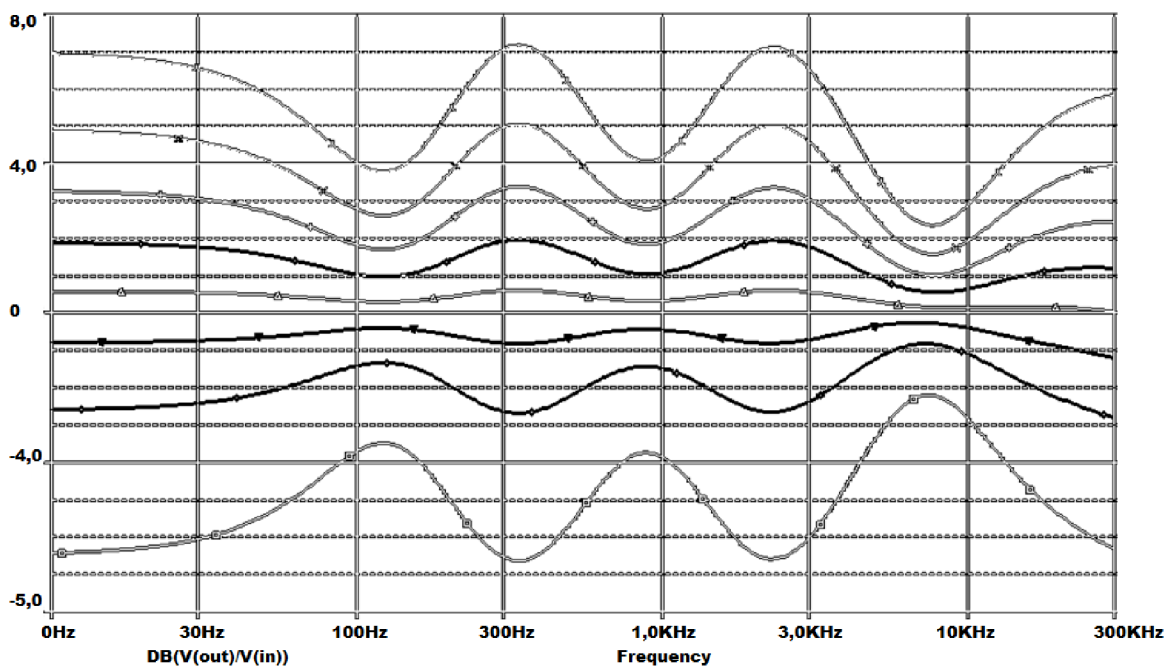
Při konstrukci ekvalizéru je důležité, aby se jednotlivá pásma překrývala takovým způsobem, aby byl frekvenční průběh relativně vyrovnaný při nastavení do nulové polohy, nebo do stejné polohy zesílení či zeslabení všech pásem.

Jednoduchý ekvalizér typu Bell (pásmová propust) se stává daleko operativnějším přidáním dalšího prvku, který umožní přeladit určitou část audiospektra. Přeladitelnost bývá umožněna ve středních pásmech a může se pohybovat od 200 Hz do několika kHz. Je to běžný způsob používaný u levnějších pultů, kde korekce pro výšky a basy jsou realizovány pomocí dolní a horní propusti a střední část spektra využívá dvě přeladitelné pásmové propusti. Takovýmto typům ekvalizérů se říká SWEEP, nebo semiparametrický.



Parametrický ekvalizér má možnost ještě navíc měnit šířku pásma (jakost  $Q$ ). U lepších modelů se dá šířka pásma plynule ladit. U takovýchto korekčních obvodů lze tedy nastavovat všechny důležité parametry – stupeň zesílení a potlačení, frekvence, kde leží střed daného pásma a šířku pásma. A tak dosáhnout co nejlepších výsledů. V levnějších variantách mixážních pultů se objevují ovládací prvky (přepínače) jimiž jde nastavovat šířku pásma po určitých nadeřinovaných krocích. Kde je velikost jakosti pásem  $Q$  pevně nadeřinována, je potřeba její hodnotu volit kompromisně. Příliš nízké  $Q$  má vliv na zbytečně široké pásmo frekvencí a mohlo by tak nežádoucně ovlivňovat ostatní pásma. Kdežto příliš vysoká jakost pásma zní drsně a špičatě, jestliže se používá k zesílení.[3]

V rámci semestrálního projektu byl zařazen do mikrofonních větví čtyřpásmový ekvalizér s přeladitelnými středy. Ukázka simulace provedené v rámci semestrálního projektu, je na obrázku 7. Jedná se o simulaci frekvenční charakteristiky při shodném nastavení zisku ve všech pásmech. Postranní pásma jsou typu shelving a střední typu pásmová propust. Zisk je možné nastavit v rozsahu od -8 dB do +8 dB. Převzaté zapojení z [5] využívá poměrně nestandardních potenciometrů pro ovládání zesílení v jednotlivých pásmech. Jedná se o potenciometry s dráhou  $W$  někdy také označovanou jako audio tape. Kvůli špatné dostupnosti a velmi vysoké ceně, bylo potřeba tento blok nahradit. Jako adekvátní náhrada byl zvolen sedmipásmový grafický ekvalizér.

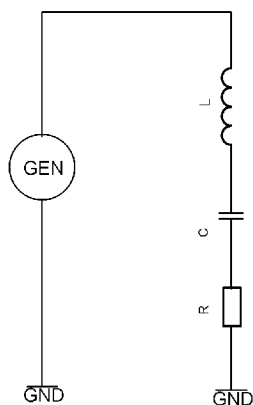


Obr. 7: Schéma zapojení čtyřpásmového ekvalizéru s dojitými parametrickými středy

Celkové zapojení bloku sedmipásmového ekvalizéru je na obrázku 10. Vychází ze zapojení publikované v [10]. Základním prvkem jsou sériové RLC rezonanční obvody (Obr. 8) s rezonanční frekvencí vypočítanou podle (2).

$$f_R = \frac{1}{2\sqrt{LC}} \quad (2)$$

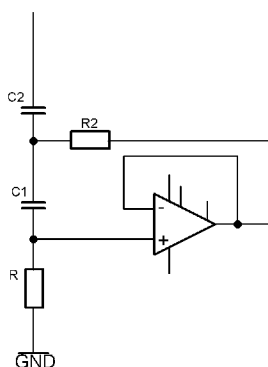
[Hz, H, F]



Obr. 8: Sériový RLC obvod

Takovéto obvody tvoří filtr typu pásmová propust (bell). Převážně kvůli ceně, časové náročnosti a nepřesnostem v hodnotách je vhodné cívku nahradit syntetickou indukčností. Ta je tvořena operačním zesilovačem zapojeným jako gyrátor. Toto zapojení je znázorněno na obrázku 9. Velikost indukčnosti tvořené takovýmto zapojením je:

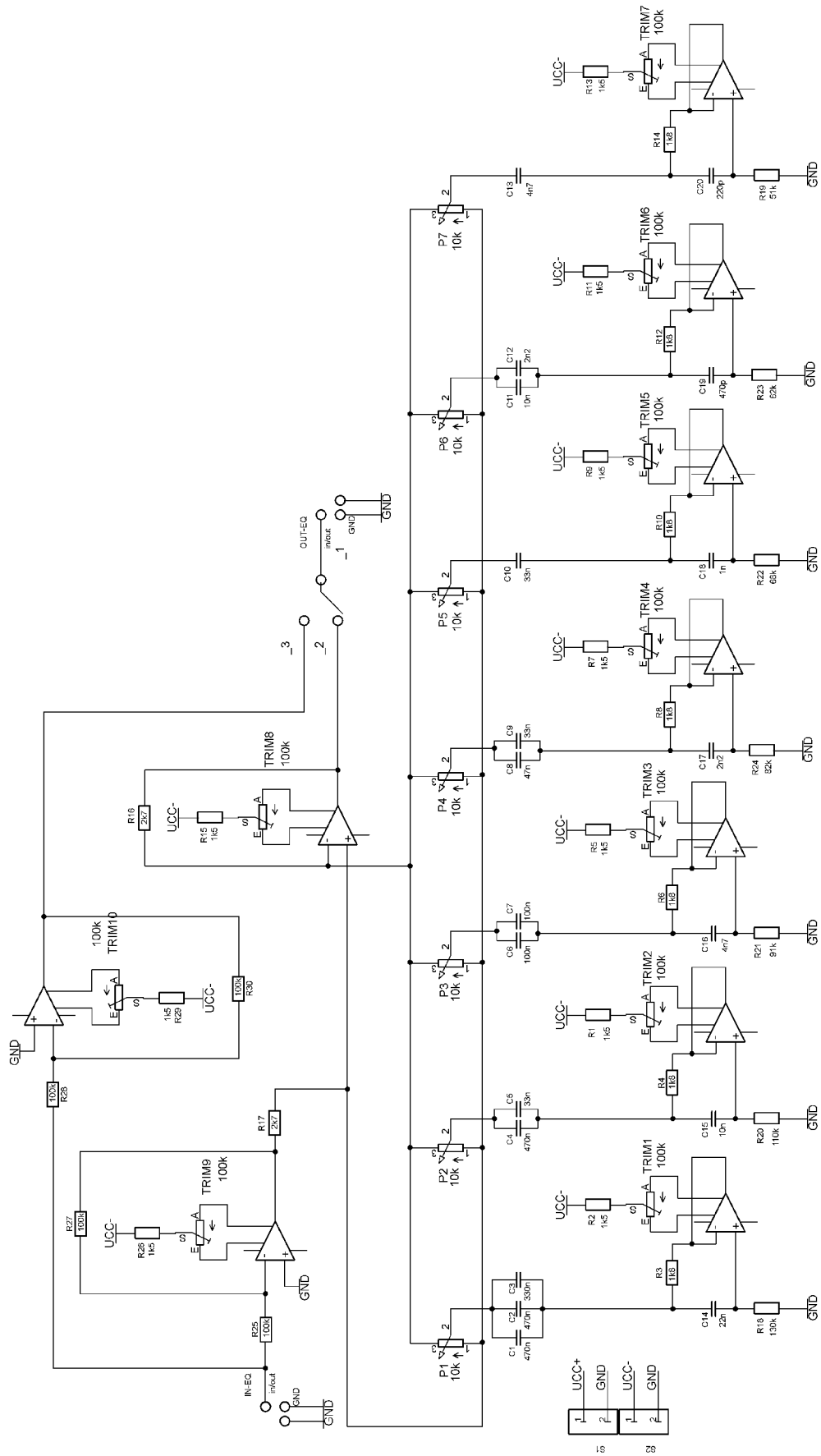
$$L = RR_2C_1 \quad [H, \Omega, F]. \quad (3)$$



Obr. 9: Realizace RLC obvodu se syntetickou indukčností

Hodnoty součástek v zapojení sedmipásmového ekvalizéru jsou navrženy tak, aby rezonanční frekvence byly (63, 160, 410) Hz a (1, 2,5, 7,7 a 16) kHz. Jakosti  $Q$  jsou voleny stejné pro všechny pásma a to  $Q = 0,9$  při maximálním zesílení, nebo potlačení signálu. To zajistí efektivní využití pásma slyšitelných zvuku (20 Hz – 20 kHz) a poměrně vyrovnanou charakteristiku při nastavení střední polohy potenciometrů. Zisk lze nastavovat v rozsahu od - 8 dB do +8 dB.

Jako všechny korekční členy v této bakalářské práci je i ekvalizér v mikrofonní větvi vybaven přepínačem bypass, který zajistí přesně lineární charakteristiku bloku. Je tvořen invertujícím zesilovačem s vysokým vstupním odporem a ziskem rovným jedné.



Obr. 10: Schéma zapojení sedmipásmového ekvalizéru

### 3.3 Obvodové řešení zpožďovacího členu

Dalším důležitým prvkem, převážně při zpracování zpěvu je člen zajišťující úpravu signálu v časové oblasti. Jedná se o efekt dozvuku (echo). Principem je zpožďování a snižování úrovně signálu a následné přičtení k původnímu nezkrácenému signálu. To se děje tak dlouho, dokud upravený signál nedosáhne úrovně -60 dB. Tato úroveň se podle [3] dá považovat v audio technice za konečnou hodnotu slyšitelnosti odražených reálných zvukových vln.

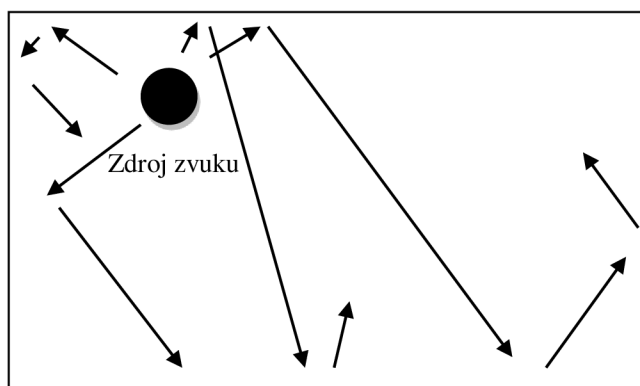
Tento princip činnosti vychází ze snahy napodobit reálné prostředí. Na obrázku 11 je schematicky naznačena místnost s jedním zdrojem zvuku. Je z něj patrné, že zvuk se odrazí od pevných překážek (stěny, strop, podlaha...). Doba, za jakou je odražený signál slyšet opět u zdroje zvuku, je přímo úměrná vzdálenosti, kterou zvuková vlna musela urazit a nepřímo úměrná rychlosti s jakou se vlna pohybuje. Rychlost zvuku se mění podle toho, jakým prostředím prochází. Ve vzduchu jsou nejvýraznějšími parametry teplota a vlhkost. Matematicky lze rychlost zvuku ve vzduchu zapsat přibližně podle rovnice:

$$v(t) = (331,82 + 0,61t) \quad [\text{m/s}, \text{ } ^\circ\text{C}]. \quad (4)$$

Úroveň odraženého (zpožděného) signálu klesá se vzdáleností, a počtem odražení od různě pohlcujících překážek. Příkladem prostředí s různými vlastnostmi může být obývací pokoj a kostel. V obývacím pokoji je vzdálenost stěn poměrně malá a bývá vybaven záclonami, závěsy a různým nábytkem, což přispívá k útlumu odražených vln. Naproti tomu kostel je prostředí často velmi rozsáhlé, kamenné stěny v kombinaci s chladným a vlhkým vzduchem dávají šířenému zvuku charakteristické vlastnosti projevující se na velkém dozvuku.

Jak je řečeno v [3], dozvuk poskytuje psychoakustickou informaci, určující převážně rozměry místnosti. Základní struktura dozvuku v přirozeném prostředí jede rozdělit na tři části:

- Počáteční zpoždění (pre-delay), což je čas, který uplyne mezi přímým zvukem a jeho prvním odrazem.
- Počáteční odrazy (early reflections) jsou první odrazy o řídké četnosti a poměrně vysoké úrovni. Určují základní informace o velikosti a typu daného prostoru
- Husté odrazy, které dotvářejí celkový charakter zvuku.



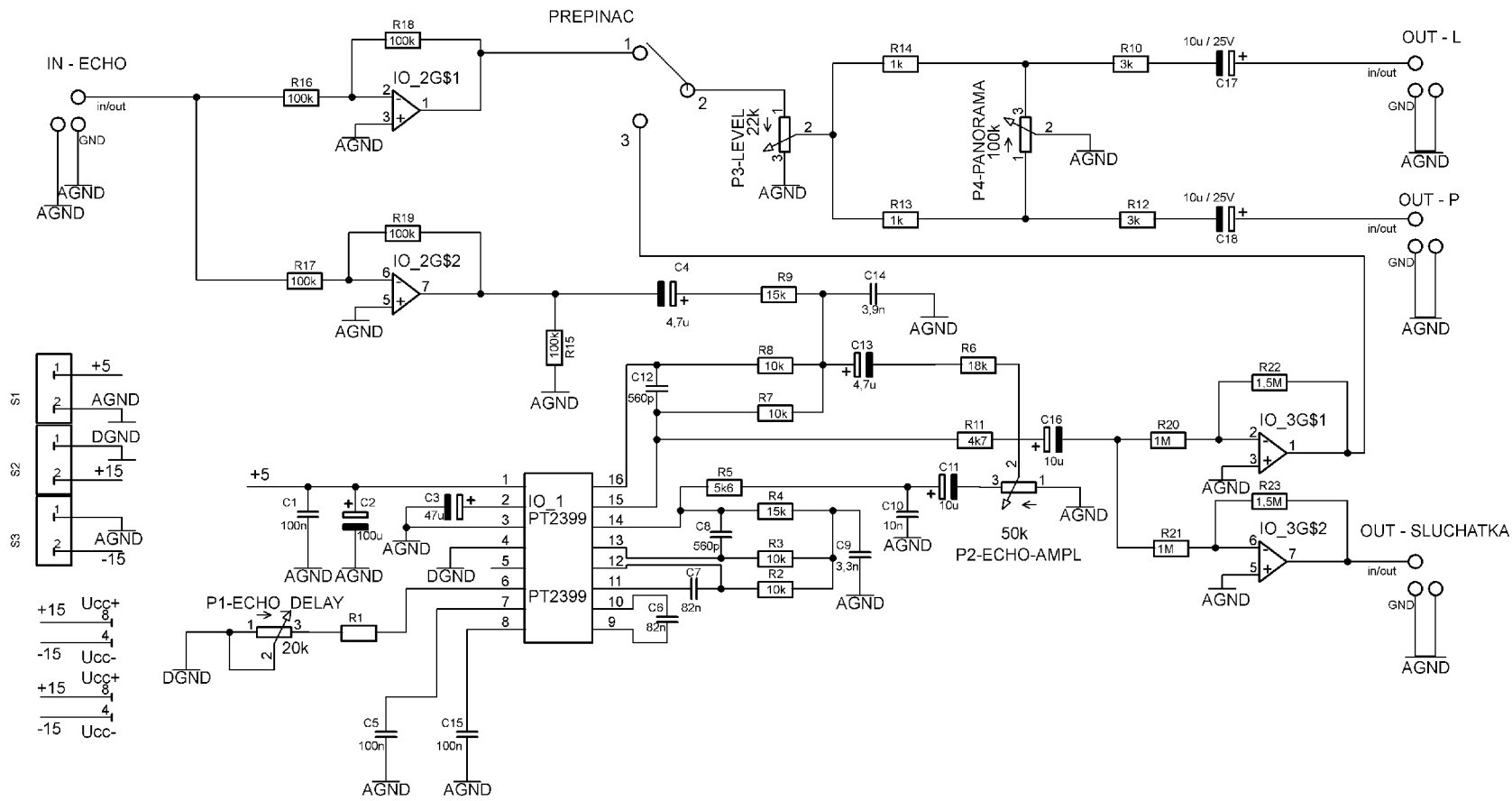
Obr. 11: Schematické násobení odrazů v místnosti

V této práci byl pro simulaci popsaných vlastností využitý audio procesor firmy Princeton Technology Corp. PT2399, tedy digitální prvek. Jedná se o procesor využívající CMOS technologii vybavený rychlými AD a DA převodníky a interní pamětí 44 k,

---

umožňující zapojení efektu echo (Obr. 12). Jak je uvedeno v [8] má celkové harmonické zkreslení menší než 0,5% a velmi nízký šum až -90 dBV. To podle výrobce zaručuje vysoce kvalitní audio výstup. Další výraznou výhodou využití tohoto procesoru je minimální počet externích součástek a funkce auto reset. Možná využití doporučená výrobcem jsou mimo jiné VHS rekordéry, televize, CD přehrávače, elektronické hudební nástroje a mixážní pulty. Zapojení echo procesoru doporučené výrobcem a použité v této bakalářské práci je na Obr. 12. Doporučená hodnota odporu  $R$  je 10 k $\Omega$ . Celkovým odporem na pinu 6 lze měnit frekvenci, se kterou je signál zpracováván a tak nastavovat velikost dobu dozvuku. Napájecí napětí obvodu je  $U_{cc} = 5$  V.

Obr. 12: Obvodové schéma zapojení echo processoru PT2399.



---

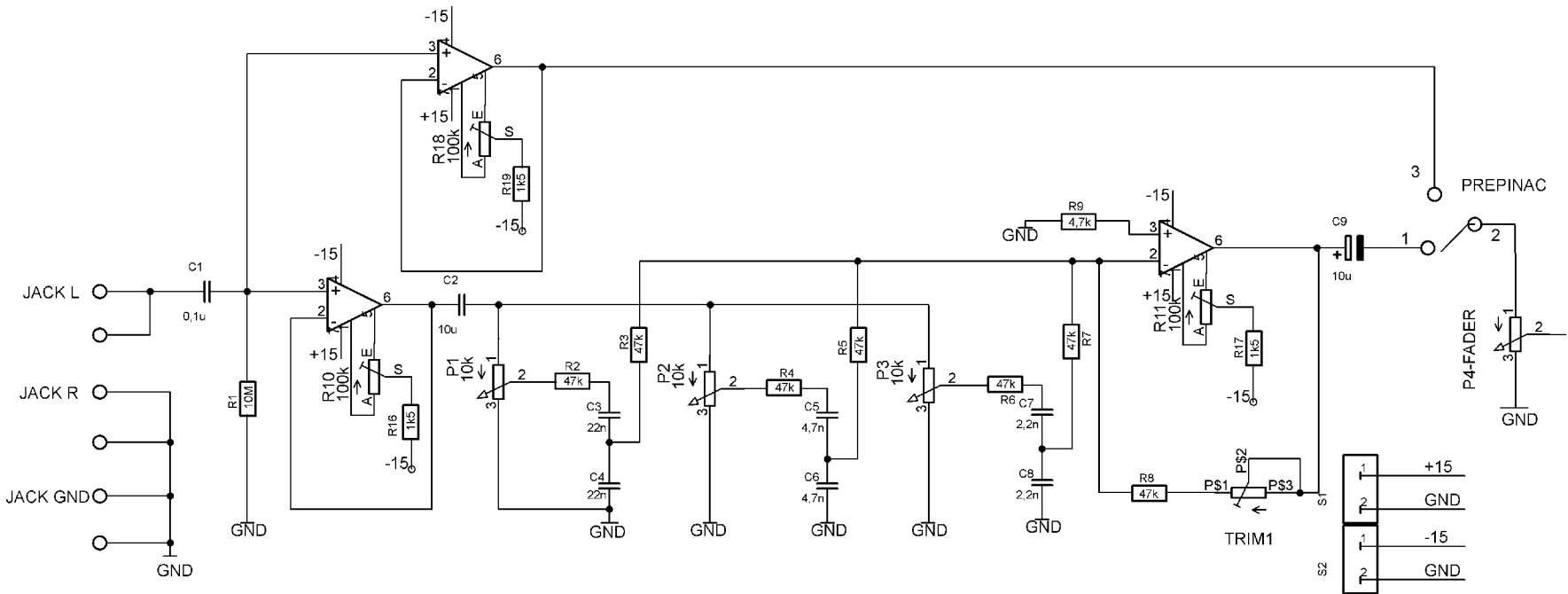
### 3.4 Obvodové řešení třípásmového ekvalizéru

Tento korekční obvod je připojen k nástrojovému vstupu. Na rozdíl od linkového vstupu je zde potřeba obvod pro úpravu frekvenční charakteristiky. Jestliže bude předpokládáno přímé připojení elektrické kytary nebo elektronických kláves je jisté, že vstupní signál do mixážního pultu nebyl nijak upravován ve frekvenční oblasti. Jak již bylo řečeno v předcházející kapitole, ekvalizéry se používají k vyrovnání kmitočtové charakteristiky, redukci akustických zpětných vazeb a úprava zvuků nástrojů.

V této práci bylo použito pro úpravu signálu z nástrojového vstupu třípásmového ekvalizéru. Všechny pásma typu Bell. Je zde použit nízkošumový operační zesilovač TL071 od firmy Texas Instruments. Stejný jako byl použit v předcházejícím zapojení sedmipásmového ekvalizéru. A to především proto, aby se celkové zapojení skládalo co možno z neméně počtu různých součástek. Schéma (Obr. 13) bylo převzato z [7] a mírně upraveno.

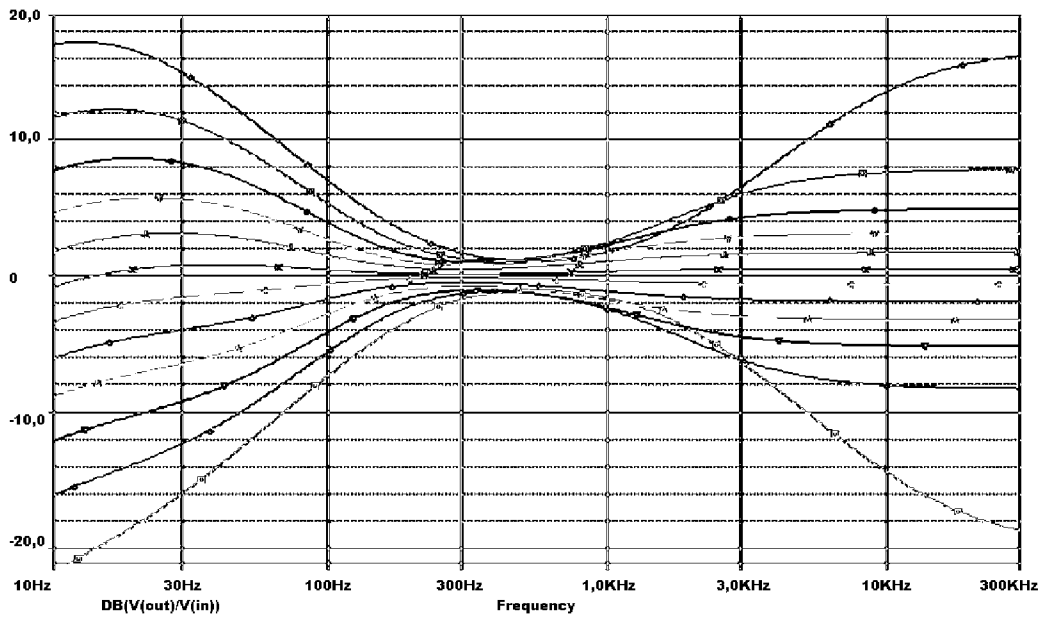
Zapojení bylo odsimulováno v prostředí PSpice. Z průběhu frekvenční charakteristiky třípásmového ekvalizéru (Obr. 14) je možné odečíst mezní frekvence horní a dolní propusti. Ty jsou přibližně  $f_{md} = 70$  Hz a  $f_{mh} = 1,5$  kHz. Možnost měnit zesílení  $A_U$  je v rozmezí  $\pm 18$  dB.

Na obrázku 15 je průběh frekvenční přenosové modulové charakteristiky při natavení potenciometrů  $P_1$  a  $P_3$  do střední polohy (to znamená zesílení pro odpovídající pásma výšek a basů 0dB). Je tedy rozmítána hodnota odporu potenciometru  $P_2$ . Lze odečíst mezní frekvence této pásmové propusti  $f_{m1} = 370$  Hz  $f_{m2} = 2,4$  kHz. Jakost rezonančního obvodu odpovídá hodnotě  $Q = 0,5$ .

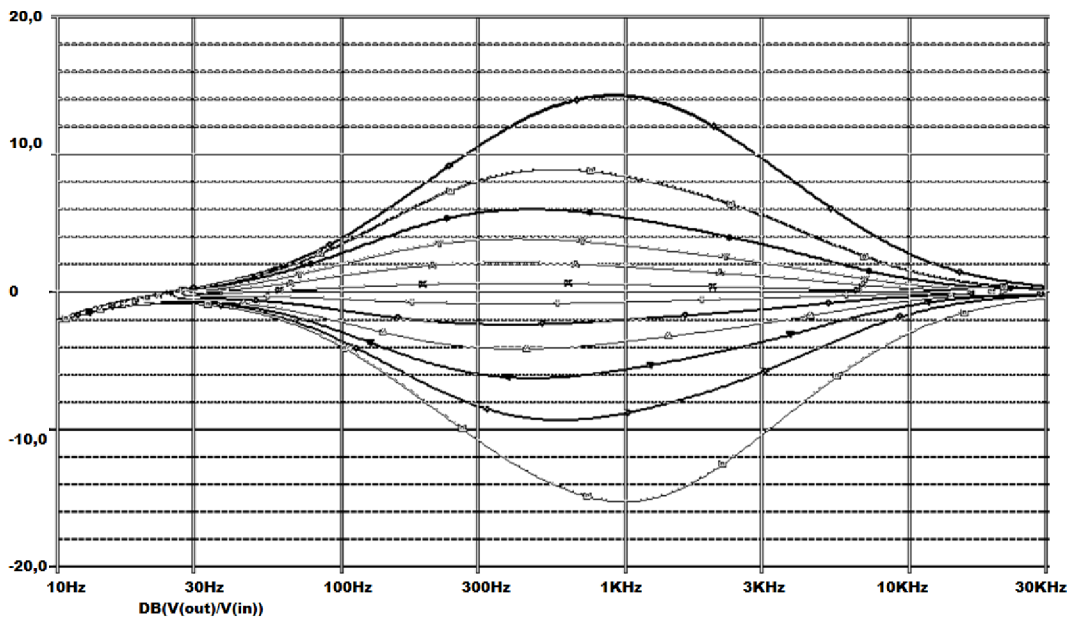


Obr. 13: Schéma zapojení třípásmového ekvalizéru



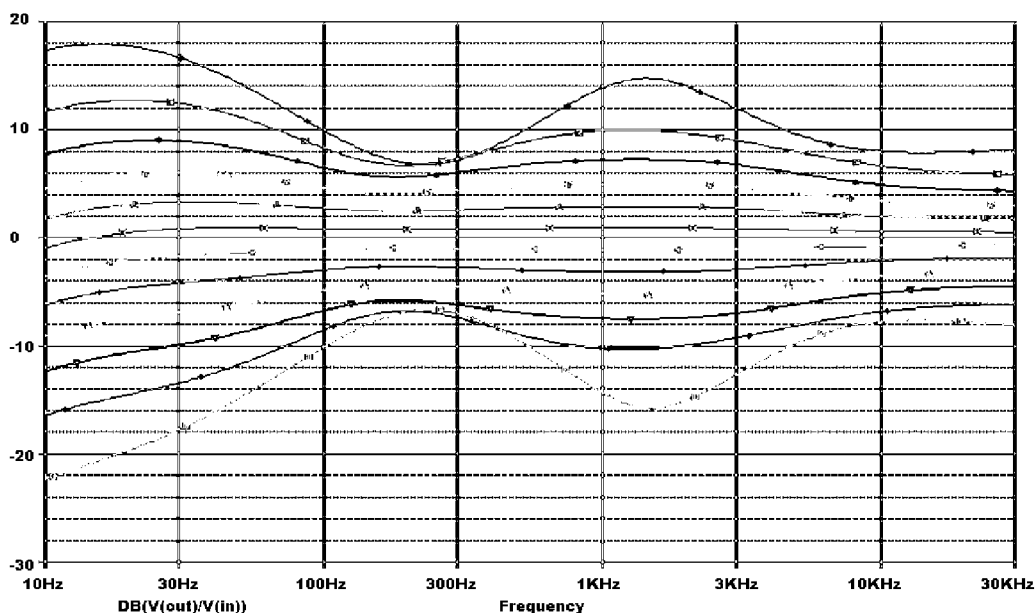


Obr. 14: Simulace třípásmového ekvalizéru – horní a dolní propust



Obr. 15: Simulace třípásmového ekvalizéru – střední pásmo

Současná změna vytočení potenciometrů  $P_1 - P_3$  je znázorněna na obrázku 16. Je vidět, že by v zapojení mohl nastat případ, kdy se nepodaří nastavit úplné vybuzení výšek.



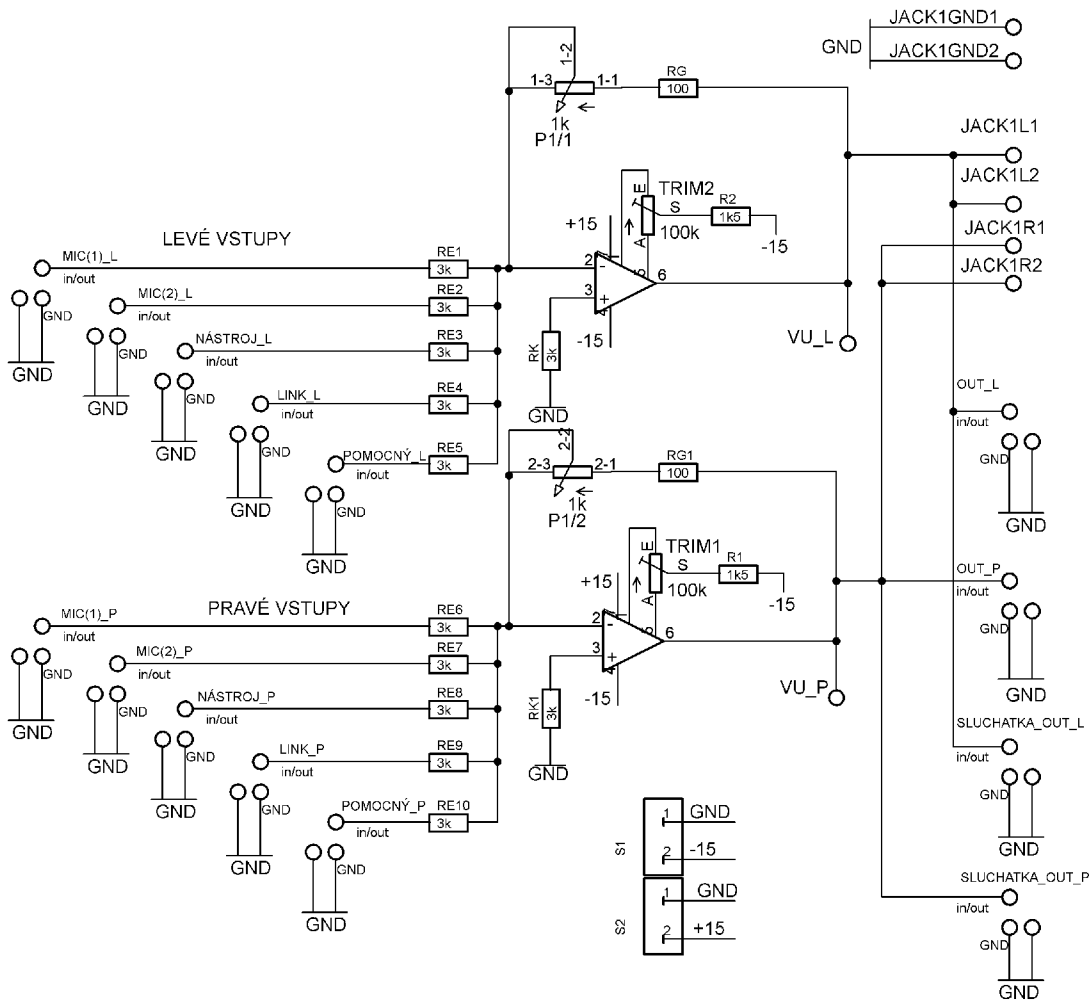
Obr. 16: Simulace třípásmového ekvalizéru – všechna pásma

### 3.5 Obvodové řešení slučovacího členu

Slučovací, nebo také směřovací stupně (jak uvádí [1]) umožňují směřování signálů z různých zdrojů s libovolným poměrem hlasitosti. Na výstupu je sečtený signál připravený k dalšímu zpracování. Zásadním požadavkem na tyto obvody je nezávislost jednotlivých kanálů. Ta je zajištěna různými způsoby. Podle zapojení lze slučovací obvody dělit do následujících kategorií:

- směšovače s oddělovacími rezistory
- směšovače s oddělovacími zesilovači
- směšovače s T členy
- směšovače se součtovým zesilovačem.

Kvůli jednoduchosti návrhu, obvodové realizace a možné variabilitě bylo v této práci použito směšovače se součtovým zesilovačem v invertujícím zapojení. Konkrétně byl opět použit nízkošumový operační zesilovač TL071. Jak je vidět z blokového schématu mixážního pultu (Obr. 2) bylo potřeba využít obou OZ v pouzdře z důvodu stereofonního charakteru mixážního pultu. Na obrázku 17 je obvodové zapojení převzaté z [1] a upravené pro potřeby této práce.



Obr. 17: Schéma zapojení slučovacího členu s OZ TL071

Z principu činnosti operačního zesilovače vyplývá, že v bodě  $E$  je tzv. „virtuální zem“, potom za předpokladu rovnosti odporů  $R_1$  až  $R_5$  pro invertující vstup platí [1]:

$$I_E = -I_G \quad [A, A] \quad (5)$$

a pro proudy  $I_G$ ,  $I_E$

$$I_G = \frac{U_A}{R_G} \quad [A, V, \Omega] \quad (6)$$

$$I_E = I_{E1} + I_{E2} + I_{E3} + I_{E4} + I_{E5} \quad [A] \quad (7)$$

$$I_{En} = \frac{U_{En}}{R_{En}} \quad [A, V, \Omega]. \quad (8)$$

Pro  $n \in \langle 1; 5 \rangle$ . Po dosazení do rovnice (5)

$$-\frac{U_A}{R_G} = \frac{U_{E1}}{R_{E1}} + \frac{U_{E2}}{R_{E2}} + \frac{U_{E3}}{R_{E3}} + \frac{U_{E4}}{R_{E4}} + \frac{U_{E5}}{R_{E5}} \quad [V, \Omega] \quad (9)$$

a z toho

$$U_A = - \left( \frac{R_G}{R_{E1}} U_{E1} + \frac{R_G}{R_{E2}} U_{E2} + \frac{R_G}{R_{E3}} U_{E3} + \frac{R_G}{R_{E4}} U_{E4} + \frac{R_G}{R_{E5}} U_{E5} \right) \quad (10)$$

A pokud budou tedy odpory  $R_1 - R_5$  stejné platí:

$$U_A = - \frac{R_G}{R_E} (U_{E1} + U_{E2} + U_{E3} + U_{E4} + U_{E5}) \quad [\text{V}, \Omega, \text{V}]. \quad (11)$$

Záporné znaménko v rovnici (11) znamená, že výstupní signál je v protifázi se vstupním. Rezistor  $R_K$  na obrázku 17 slouží ke kompenzaci vstupních proudů. Jeho optimální velikost se vypočte paralelní kombinací odporů  $R_{E1-5}$  a  $R_G$  ([1], str. 81)

$$R_K = \frac{R_E R_G}{R_E + 5R_G} \quad [\Omega]. \quad (12)$$

V této práci byla hodnota odporů  $R_E$  zvolena  $R_E = 3\text{k}\Omega$ . Po vyjádření z rovnice 11 je možné vypočítat potřebnou hodnotu  $R_G$

$$R_G = - \frac{U_A R_E}{(U_{E1} + U_{E2} + U_{E3} + U_{E4} + U_{E5})} \quad [\Omega, \text{V}]. \quad (13)$$

Takto vypočtená hodnota  $R_G$  udává velikost odporu při zapojení všech pěti vstupů a dosažené úrovni vstupních signálů 0,775 V. Na výstupu je požadované napětí vždy linkové úrovně (0,775 V). Proto je potřeba zvolit hodnotu odporu větší a proměnou, aby bylo možné nastavit adekvátní zesílení i při nižším počtu připojených vstupních signálů, nebo při menší úrovni těchto signálů. Po uvážení těchto hledisek byla hodnota odporu zvolena  $R_G = 1,1\text{k}\Omega$ . Je tvořený sériovou kombinací potenciometru o hodnotě 1 k $\Omega$  a pevného odporu 100  $\Omega$ . Při nastavování zesílení je možné využít indikace vybuzení k dosažení co možná nejlepšího výsledku.

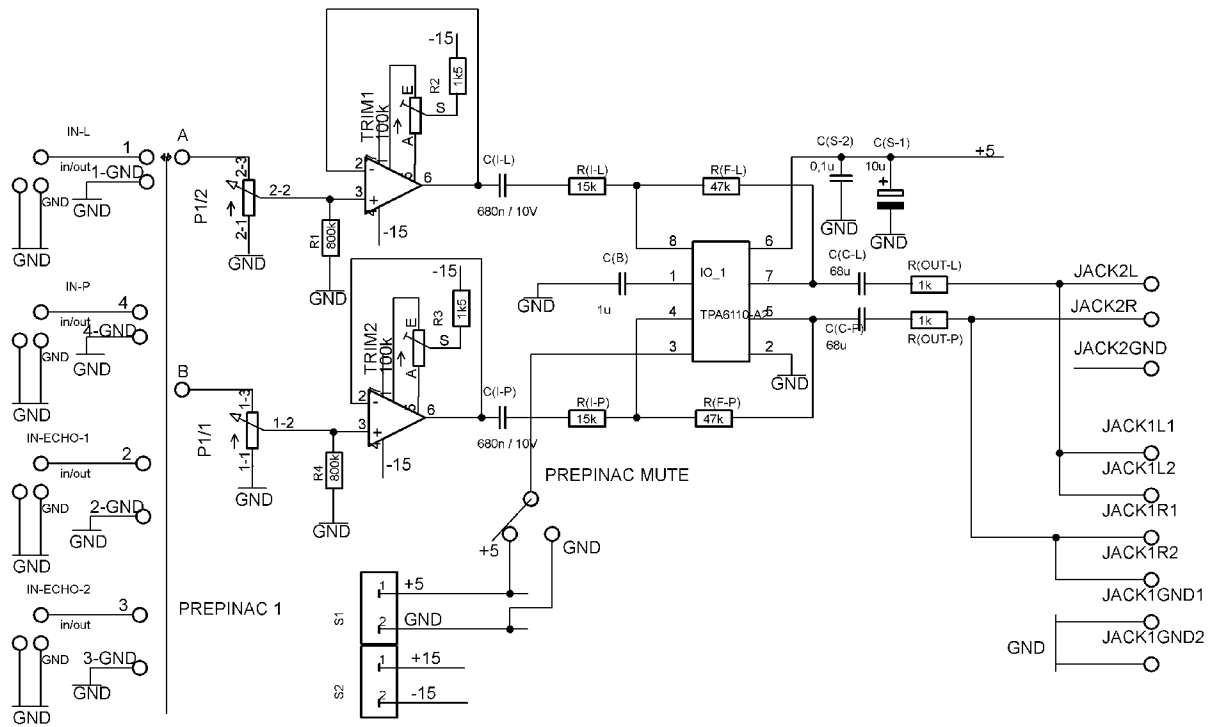
Počet vstupů u tohoto zapojení může být libovolný, ovšem s narůstajícím počtem je třeba uvážit narůstající vlastní šum zesilovače.

### 3.6 Obvodové řešení sluchátkového zesilovače

Sluchátkový zesilovač ve výstupní části umožňuje odposlech výsledného signálu. Je využito obvodu TPA6110A2 od firmy Texas Instruments, který obsahuje kompletní stereo audio zesilovač v pouzdře MSOP určený pro povrchovou montáž. Podle výrobce [9] dosahuje výkonu  $P_{RMS} = 150\text{ mW}$  na kanál při zátěži 16  $\Omega$ . Zesílení je konfigurovatelné pomocí dvojice externích odporů  $R_f$  (Obr. 18). Zesílení je možné vypočíst podle rovnice 14.

$$A = - \left( \frac{R_f}{R_i} \right) \quad [-, \Omega]. \quad (14)$$

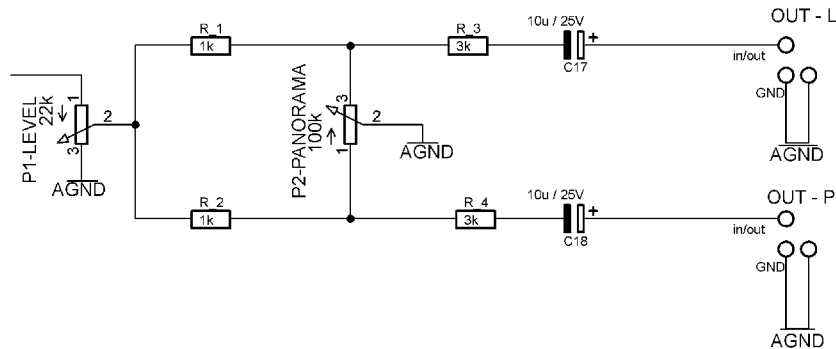
$THD+N$  udává výrobce 0,03 % na frekvenci 1 kHz a menší než 1 % v celém audio pásmu (tj. 20 Hz až 20 kHz) při zátěži 16  $\Omega$ . Napájecí napětí tohoto obvodu je  $U_{cc} = 5\text{ V}$ .



Obr. 18 Schéma zapojení sluchátkového zesilovače TPA6110A2

### 3.7 Obvodové řešení panoramy a regulace úrovně

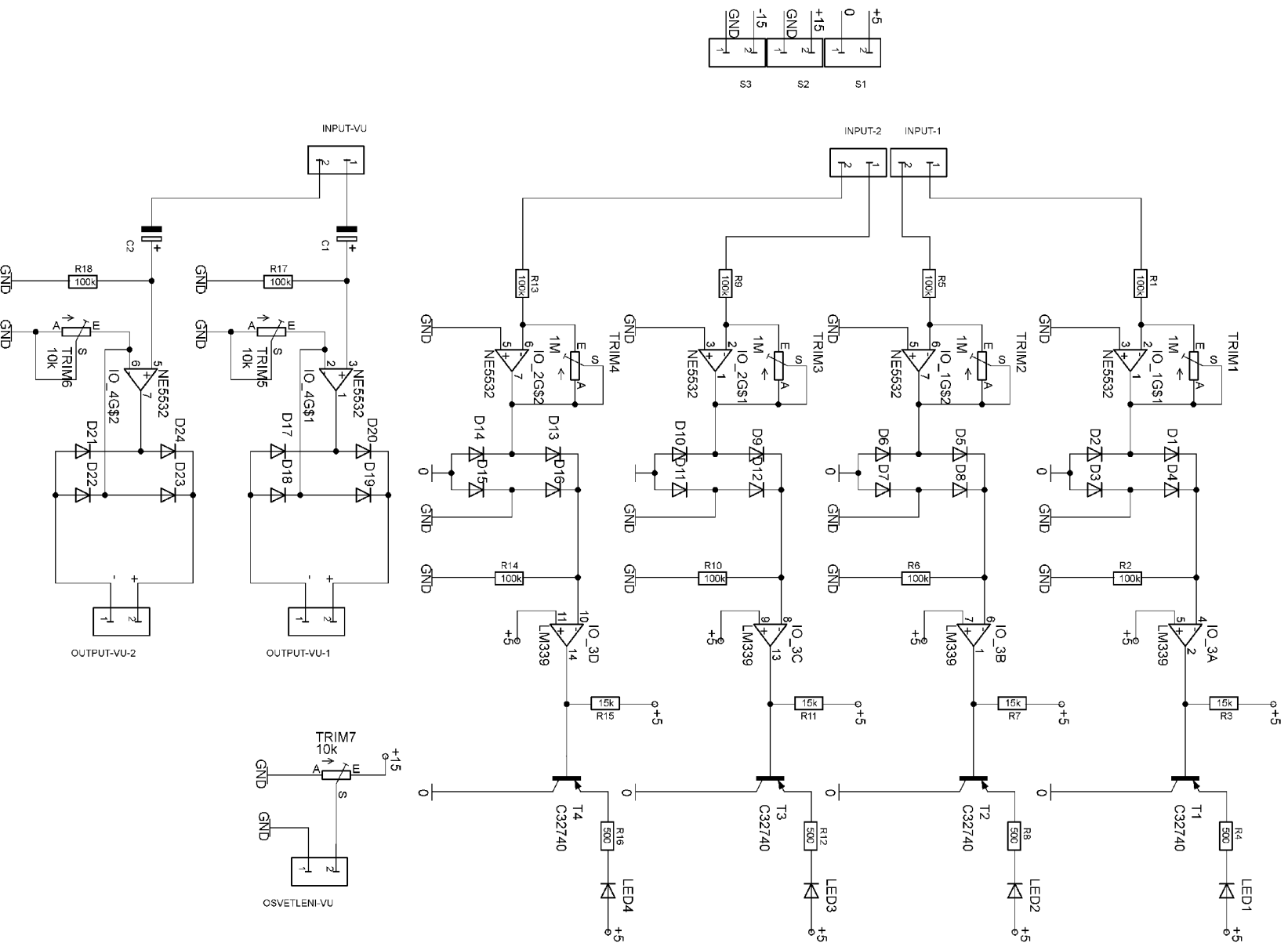
Tento obvod je zařazen do všech větví mixážního pultu. Obvodové schéma je znázorněno na obrázku 19. Jedná se o obvod umožňující změnu vyvážení pravého a levého kanálu, složený pouze z pasivních součástek. Z toho vyplývá, že velikost přenosu se může blížit k jedné. Signál je přiveden na dvojici ochranných rezistorů  $R_1$  a  $R_2$  a veden do větví pravého a levého kanálu. Samotné vyvážení kanálů obstarává potenciometr  $P_2$  o odporu 100 k $\Omega$ , jehož jezdec je připojen k zemi. Přes sumační odpory jsou oba signály přivedeny do odpovídajícího součtového zesilovače. Regulaci úrovně zajišťuje potenciometr  $P_1$ . Ten představuje odporový dělič s proměnným poměrem.



Obr. 19 Schéma zapojení panoramy a regulace úrovně

### 3.8 Obvodové řešení indikátorů

Indikátory vybuzení jsou zvláště důležité z důvodu správného nastavení úrovně zpracovávaného signálu. Nastavením úrovně signálu nižší, než ideální dojde ke zhoršení odstupu signál šum. Dodatečným zesilováním se zesiluje nejen užitečný signál, ale také ve velké míře šum, který znehodnotí výsledný zvukový signál. Jestliže se zpracovává příliš vysoký (přebuzený) signál, může dojít k limitaci. Tedy k nežádoucímu nelineárnímu zkreslení. Správně justovaný indikátor napomůže k ideálnímu nastavení úrovně zpracovávaného signálu, nebo citlivostí vstupních členů. Konstrukce je založená na operačním zesilovači LM339.



Obr. 20 Schéma zapojení indikátorů

## 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU

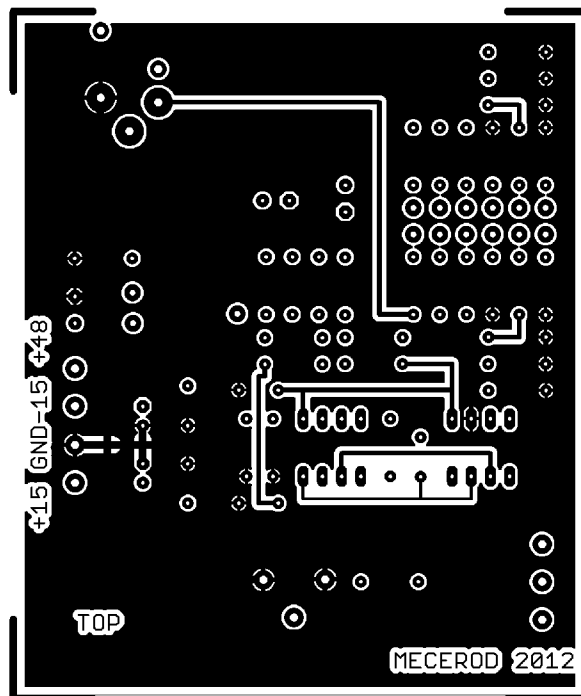
Z důvodů přehlednosti, praktičnosti a variability byly všechny funkční bloky realizovány na samostatných deskách plošných spojů. To zajistí také snadnější hledání chyb při oživování zařízení. Jednotlivé desky jsou propojovány stíněnými kabely s konektory cinch. Stínění je uzemněno vždy jen na jedné straně kabelu, z důvodu odstranění možnosti vzniku zemních smyček. Pokud je signál veden mimo desku, například k přepínačům je opět použitý stíněný kabel.

Pro návrh desek plošných spojů byl využit návrhový program EAGLE. Hodnoty součástek jsou uvedeny v tabulkové příloze.

### 4.1 Konstrukční řešení mikrofonního předzesilovače

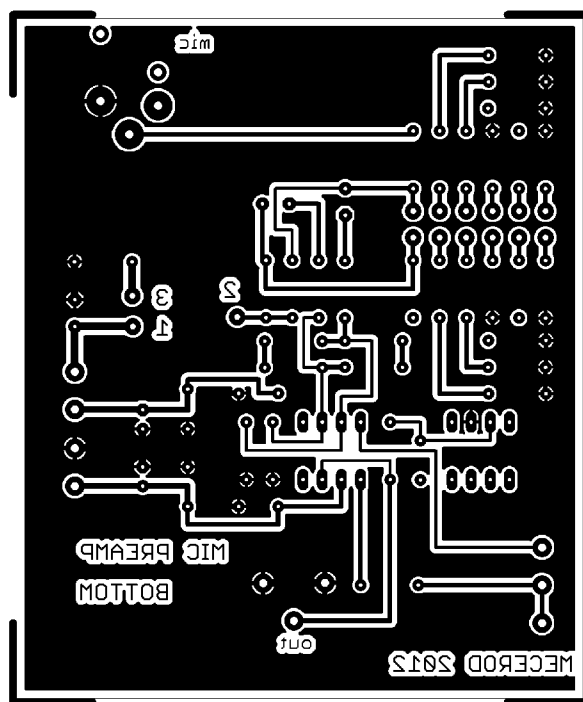
Kompletní schéma zapojení mikrofonního předzesilovače je na obrázku 4. Vstup bloku tvoří konektor *XLR*, běžně využívaný pro mikrofony. Za konektorem je dělič napětí, který s *přepínačem 1* umožní volbu citlivosti. *Přepínač 2* umožňuje napájení mikrofonu phantomovým napětím. Potenciometr *P1* ovládá zisk předzesilovače. Výstup je osazen konektorem cinch pro spojení s následujícími bloky.

Zapojení je realizované na oboustranné desce. Vstupy svorkovnic *S1* a *S2* (napájecí) jsou na vrchní straně desky opatřeny popisem. Tak jako na všech dalších deskách jsou zemní spoje tvořeny polygonem (nevyleptané plochy mědi).

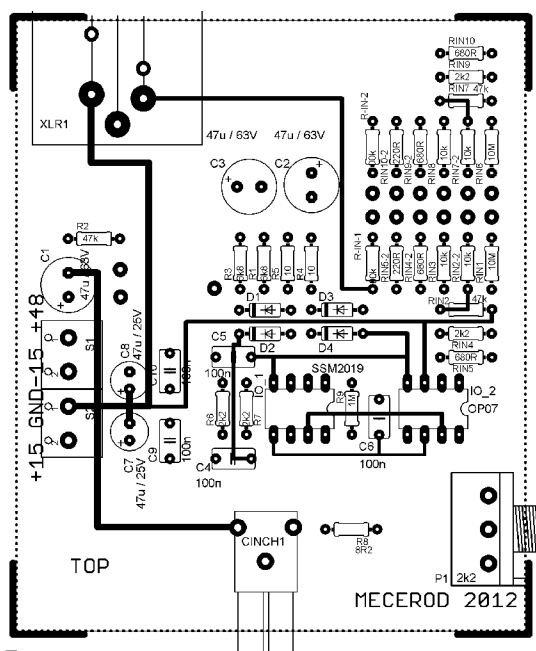


Obr. 21 DPS mikrofonního předzesilovače (TOP)  
(75x90)mm, M1:1





Obr. 22 DPS mikrofonního předzesilovače (BOTTOM)  
(75x90)mm, M1:1

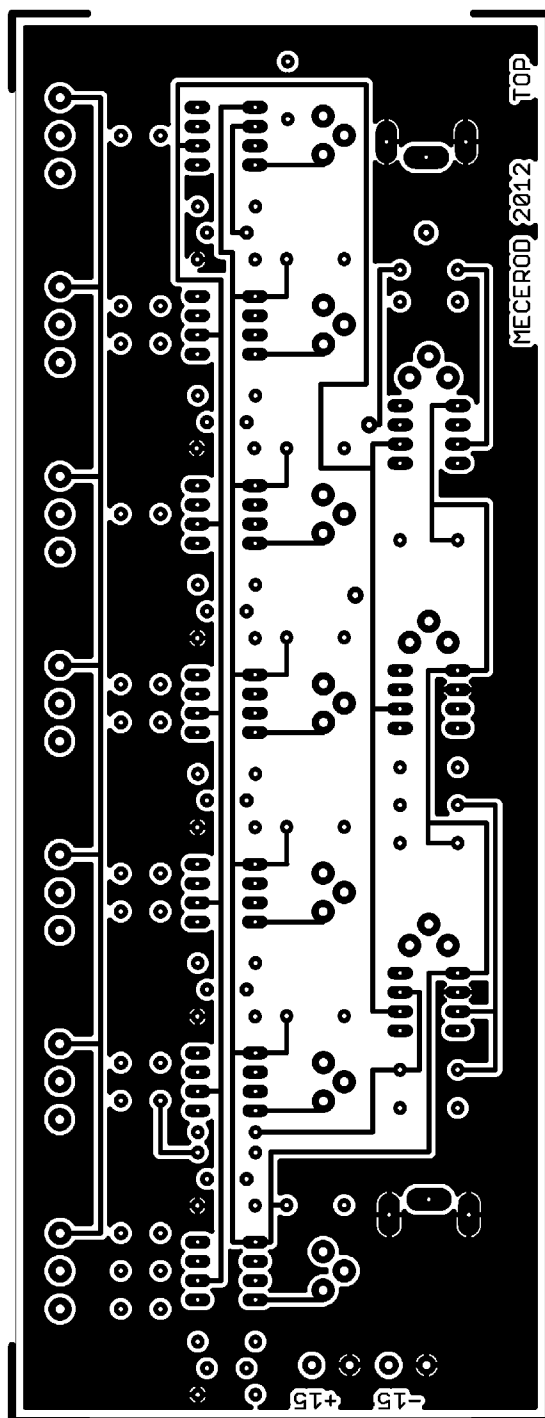


Obr. 23 Osazovací plán mikrofonního předzesilovače  
(75x90)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.23

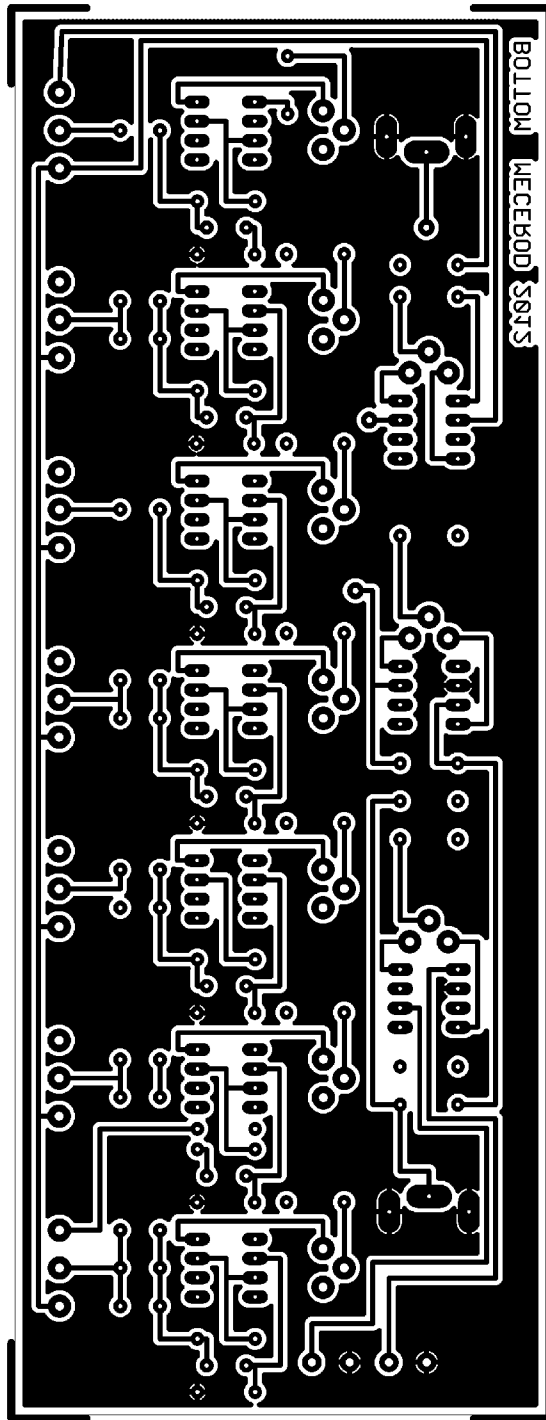
## 4.2 Konstrukční řešení sedmipásmového ekvalizéru

Schéma zapojení je na obrázku 10. Jak již bylo řečeno dříve, ekvalizér je tvořen sériovými rezonančními obvody se syntetickou indukčností. Použitý typ operačního zesilovače TL071 je vybaven možností kompenzovat stejnosměrnou složku napětí na výstupu pomocí trimru

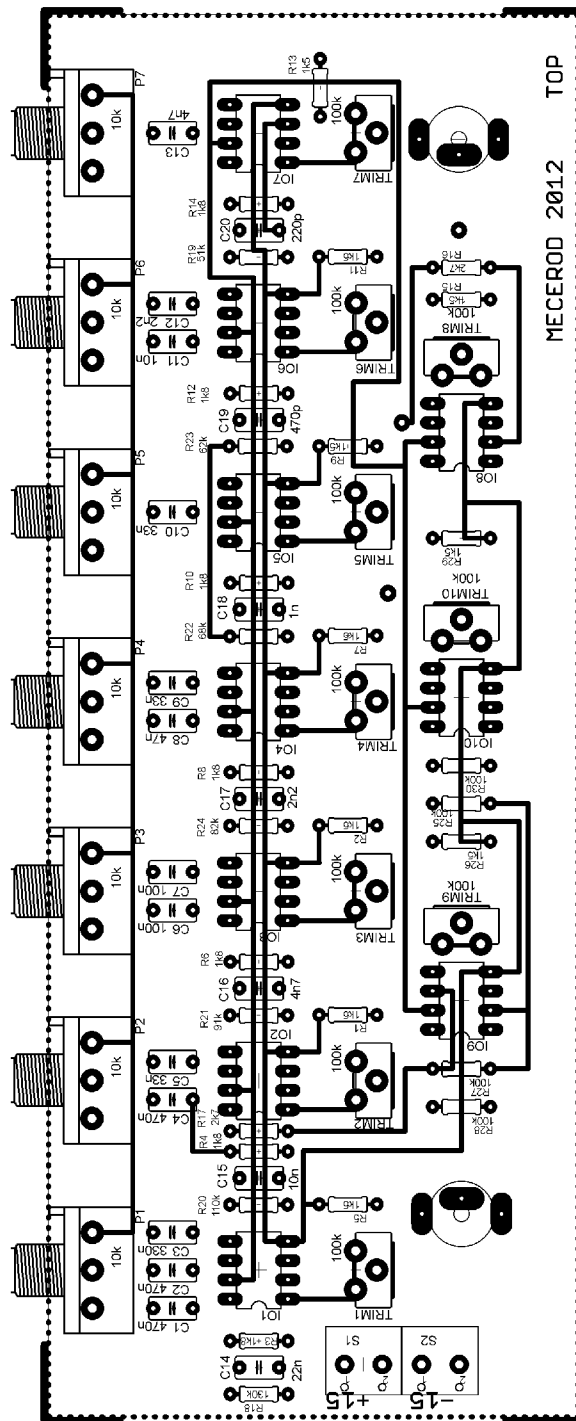
připojeného na záporné napájecí napětí. Je vhodné tuto kompenzaci nastavovat již během osazování desek plošných spojů. Přepínač (bypass) umožňuje nastavit zcela lineární kmitočtovou charakteristiku. Potenciometry *P1* až *P7* jsou lineární o velikosti 10 k $\Omega$ .



Obr. 24 DPS sedmipásmového ekvalizéru (TOP)  
(105x70)mm, M1:1



Obr. 25 DPS sedmipásmového ekvalizéru (BOTTOM)  
(105x70)mm, M1:1



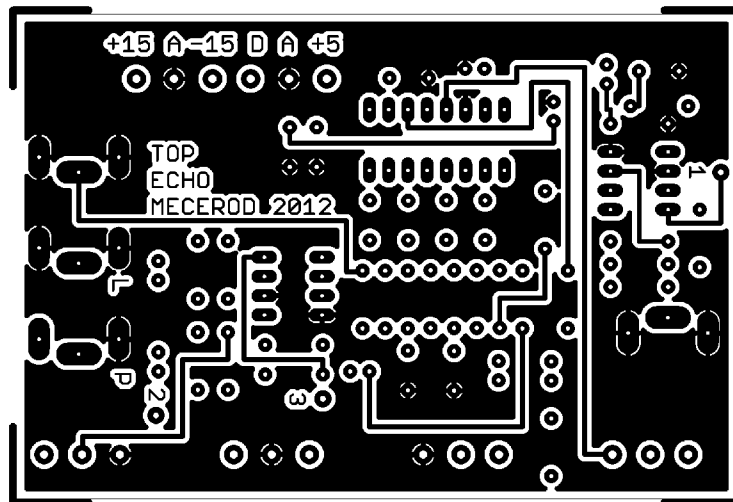
Obr. 26 Osazovací plán sedmipásmového ekvalizéru  
(105x70)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.24

### 4.3 Konstrukční řešení zpožďovacího členu

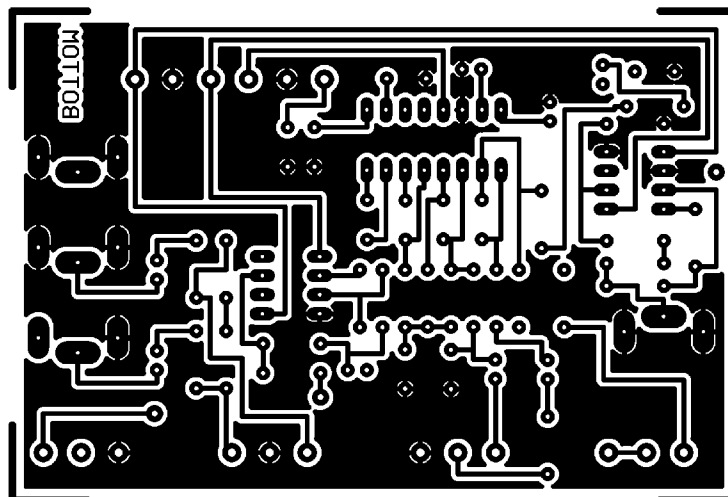
Blok se zpožďovacím členem je posledním v mikrofonní větvi před součtovým článkem. Proto obsahuje také panoramu (vyvážení levého a pravého kanálu) a fader (nastavení úrovně signálu). Schéma zapojení je na obrázku 16. Přepínač bypass umožňuje vstupnímu signálu projít bez úpravy na výstup, nebo zpracování echo procesorem PT2399. Ten je umístěn

v patici, z důvodu ochrany součástky před teplem při pájení a také kvůli možnosti pozdější manipulace s procesorem. Doba dozvuku se nastavuje potenciometrem *PI* a potenciometrem *P2* se nastavuje amplituda dozvuku.

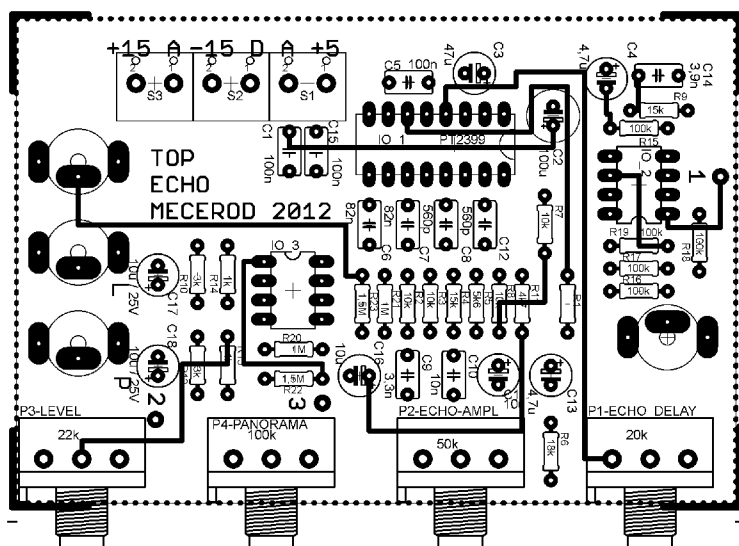
Výstup je osazen třemi konektory cinch. Konektory *Out-L* a *Out-P* jsou výstupy levého a pravého kanálu pro součtový blok. Konektor označený jako *Out-Sluchátka* je určen pro příposlech a je připojen ke sluchátkovému zesilovači. Napájecí napětí procesoru je  $U_{cc} = +5\text{ V}$ . Od procesoru jsou vedeny dva oddělené vodiče s potenciálem země. *AGND* je analogová (čistá) zem společná pro celou desku. *DGND* je digitální (špinavá) zem, která má za úkol eliminovat rušení vznikající činností procesoru.



Obr. 27 DPS zpožďovacího členu (TOP)  
(95x64)mm, M1:1



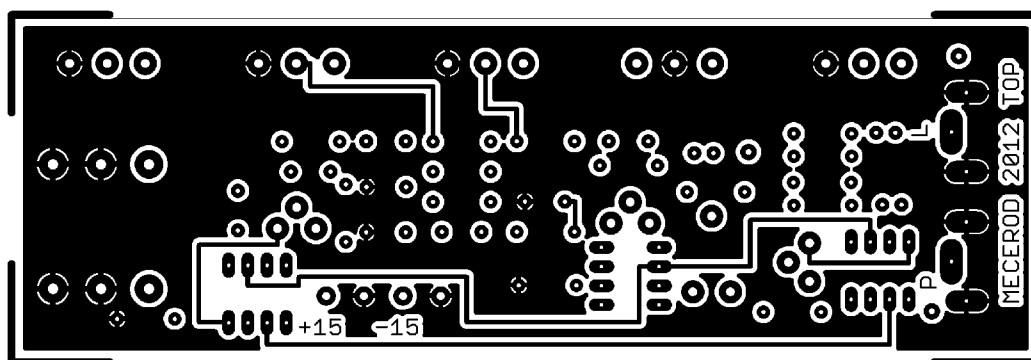
Obr. 28 DPS zpožďovacího členu (BOTTOM)  
(95x64)mm, M1:1



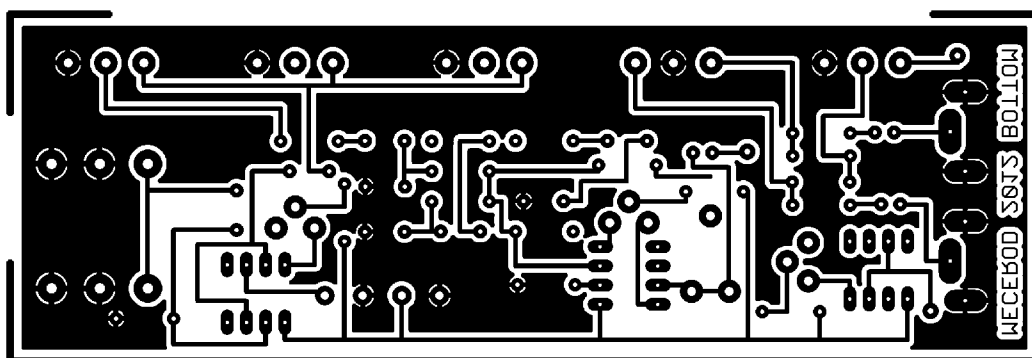
Obr. 29 Osazovací plán zpožďovacího členu  
(95x64)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.25

#### 4.4 Konstrukční řešení třípásmového ekvalizéru

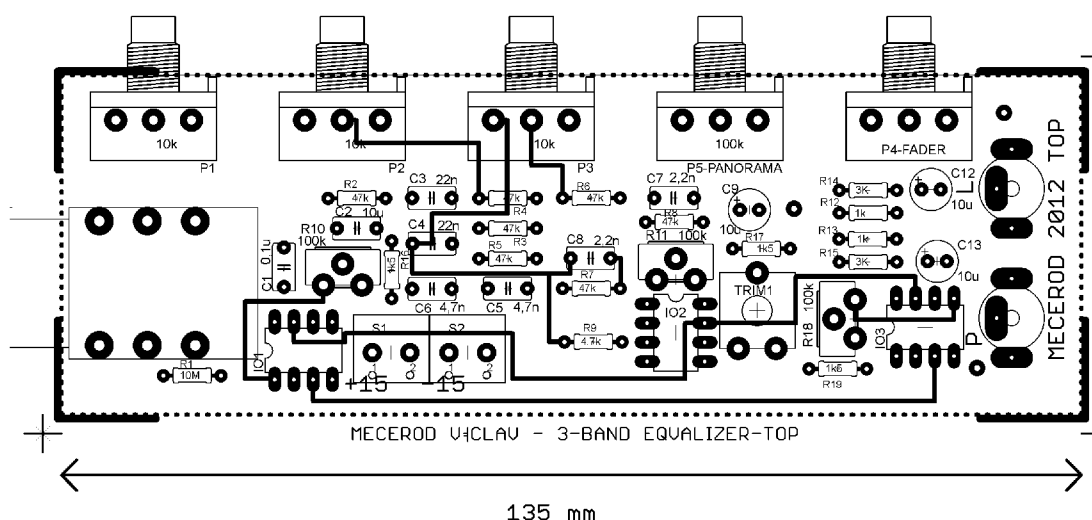
Třípásmový ekvalizér, zapojený dle schématu na obrázku 13, je na vstupu osazený konektorem JACK 6,3 mm. Opět je zde využito operačních zesilovačů TL071 s kompenzací stejnosměrné složky, kterou je vhodné nastavovat již při osazování desky součástkami. Potenciometry *P1* až *P3* jsou s lineárním průběhem. Pomocí *trimru 1* lze nastavit zesílení tohoto bloku. Přepínač bypass umožňuje nastavit lineární kmitočtovou charakteristiku. Za přepínačem je část regulace úrovně a panorama. Jedná se tedy o kompletní větev nástrojového vstupu (vysoká vstupní impedance).



Obr. 30 DPS třípásmového ekvalizéru (TOP)  
(135x45)mm, M1:1



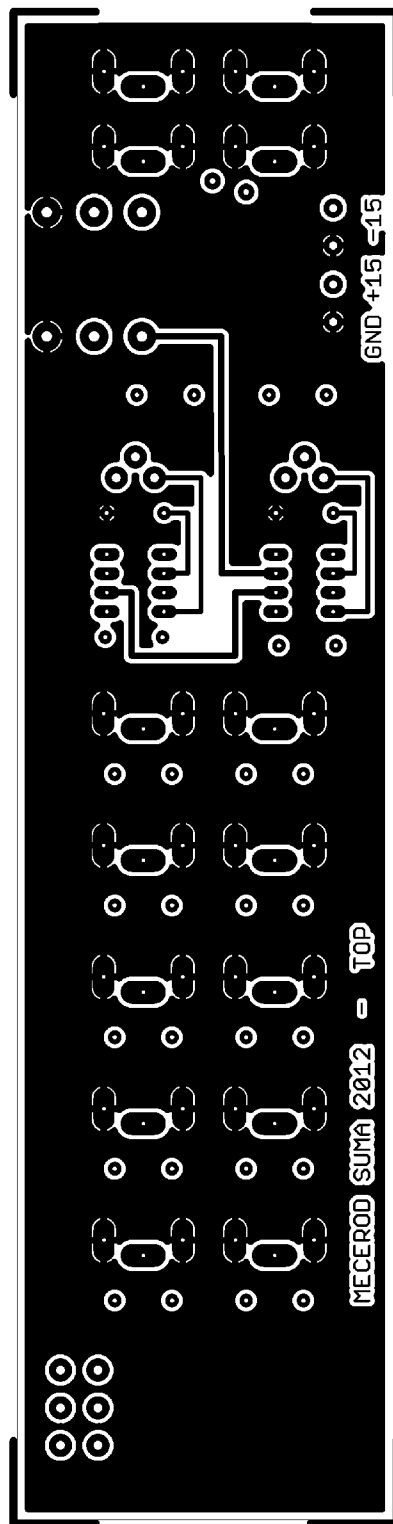
Obr. 31 DPS třípásmového ekvalizéru (BOTTOM)  
(135x45)mm, M1:1



Obr. 32 Osazovací plán třípásmového ekvalizéru  
(135x45)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.26

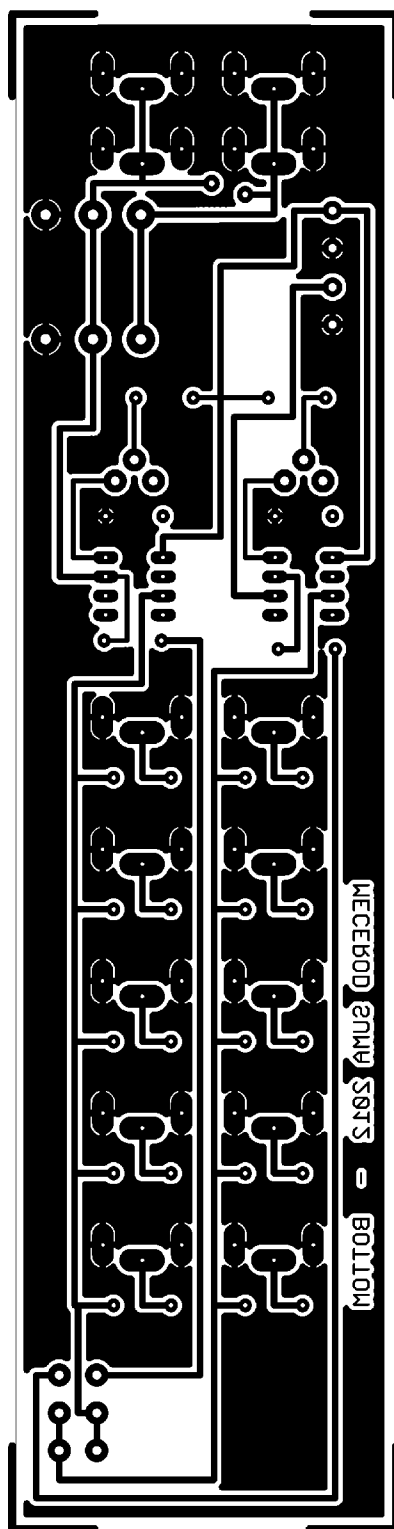
## 4.5 Konstrukční řešení slučovacího členu

Deska plošných spojů slučovacího členu je tvořena především konektory cinch (viz Obr. 17). Ty jsou řazeny vždy po dvojici (pravý a levý kanál). Pět dvojic vstupů pro dvě mikrofonní větve, nástrojovou a linkovou větev a pomocný vstup. Pady s popisem *VU-P* a *VU-L* slouží k vedení signálu k ukazateli vybuzení. Jsou zde tři rovnocenné výstupy, které se liší svým účelem. Konektor JACK 6,3mm má funkci hlavního výstupu pro propojování s dalšími zařízeními. Konektory cinch označené jako *Out-L* a *Out-P* jsou určeny jako pomocný výstup pro zařízení nedisponující konektorem JACK. Poslední dvojice konektorů cinch (*Out-Sluchátka*) je určena pro příposlech výsledného signálu a je tak připojena ke sluchátkovému zesilovači.

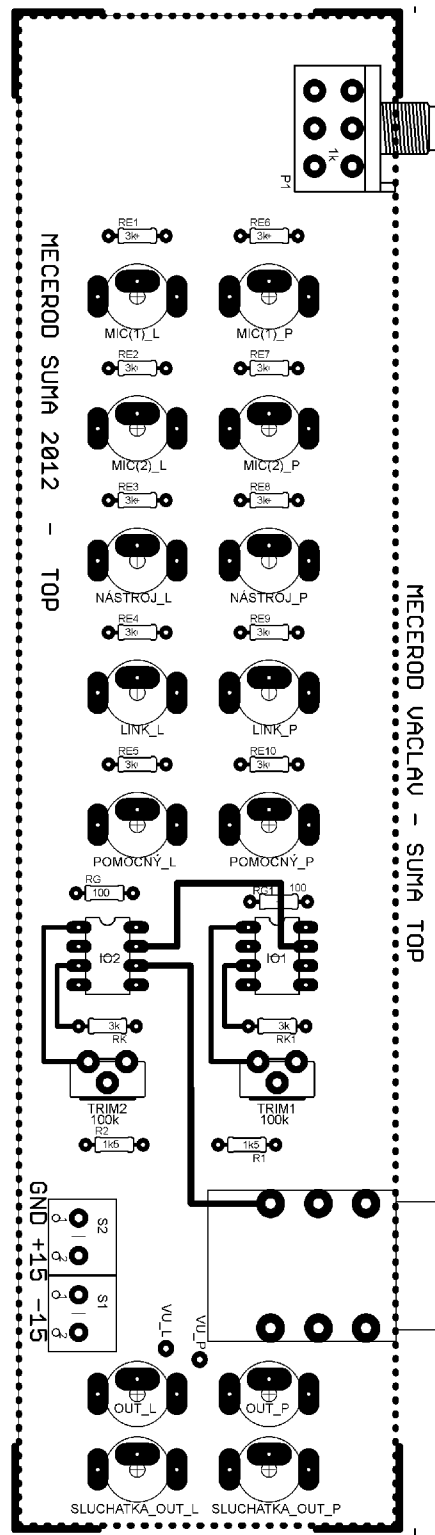


Obr. 33 DPS součtového členu (TOP)  
(200x50)mm, M1:1





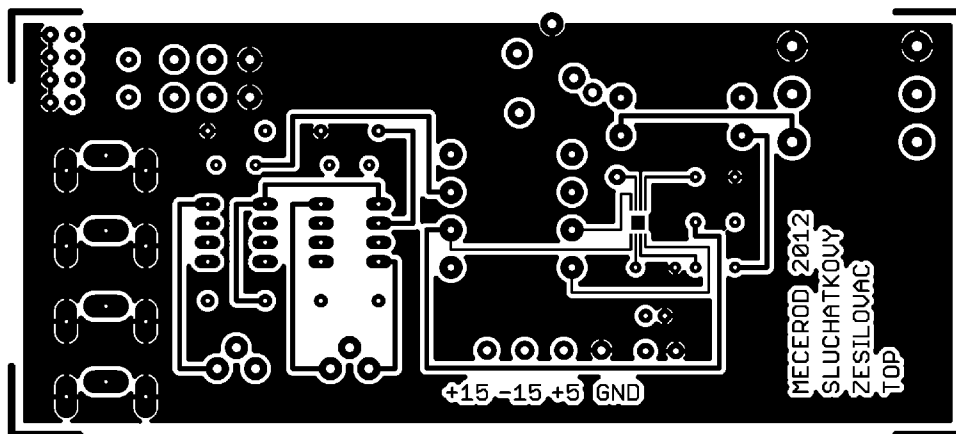
Obr. 34 DPS součtového členu (BOTTOM)  
(200x50)mm, M1:1



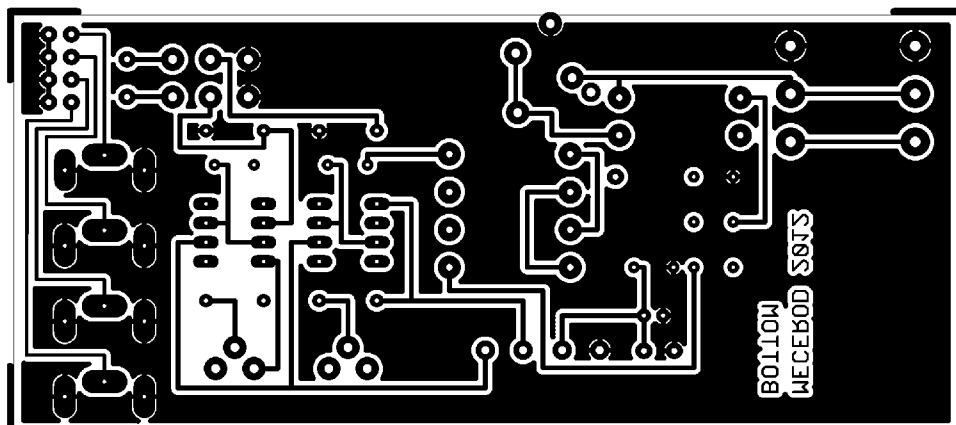
Obr. 35 Osazovací plán součtového členu  
(200x50)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.27

## 4.6 Konstrukční řešení sluchátkového zesilovače

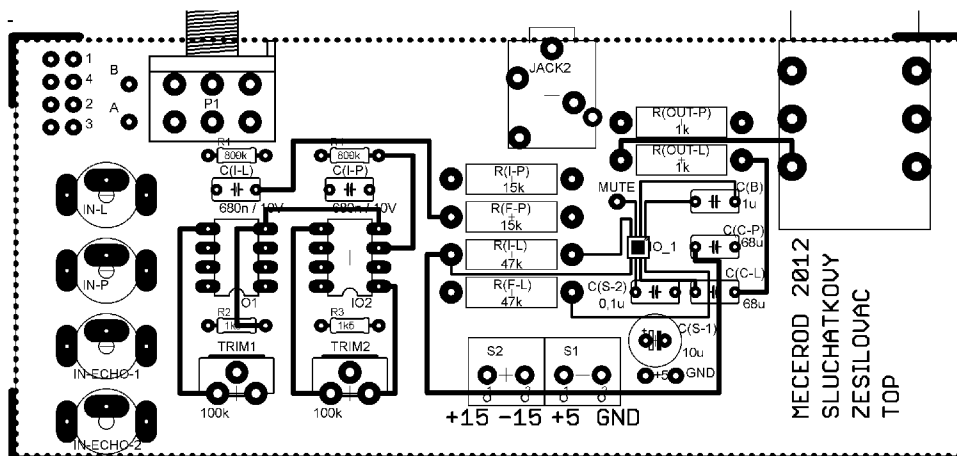
Sluchátkový zesilovač je na vstupu osazen čtyřmi konektory cinch. Dva (*In-L* a *In-P*) slouží k připojení hlavního stereo výstupu součtového členu. Další dva slouží k připojení zpožďovacích členů v mikrofonních větvích (mono). Pomocí třípolohového přepínače lze volit jeden z těchto vstupů. Hlasitost se ovládá pomocí potenciometru *P1*. Ten plní funkci regulace napěťové úrovně vstupního signálu. Zesílení je pevně nastaveno, z důvodu konstantních vlastností zesilovače a to převážně s ohledem na vstupní odpor a šířku přenášeného pásma. Samotný zesilovač je v pouzdru pro povrchovou montáž. Rezistory ovlivňující funkci integrovaného obvodu TPA6110 jsou metal oxidové do 2 W, kvůli lepším šumovým vlastnostem [6]. Ze stejného důvodu jsou použity tantalové kondenzátory. Výstup je osazen konektory JACK1 6,3 mm a JACK2 3,5 mm. Schéma zapojení je na obrázku 18.



Obr. 36 DPS sluchátkového zesilovače (TOP)  
(125x55)mm, M1:1



Obr. 37 DPS sluchátkového zesilovače (BOTTOM)  
(125x55)mm, M1:1



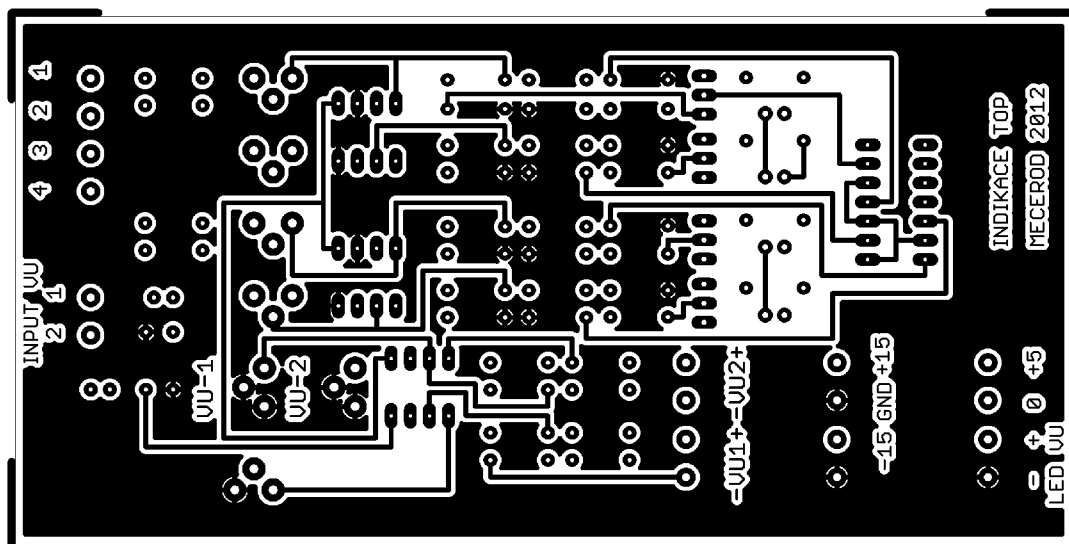
Obr. 38 Osazovací plán sluchátkového zesilovače  
(125x55)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.28

## 4.7 Konstrukční řešení indikátorů

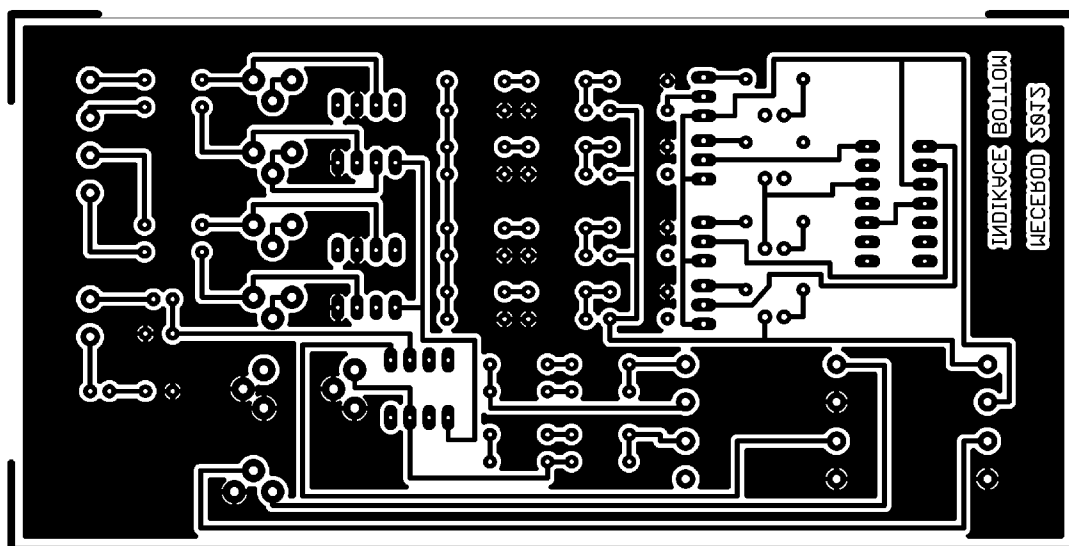
Tato deska plošných spojů obsahuje indikaci vybuzení na linkovou úroveň (0,775 V) a obvod pro analogové (ručičkové) VU metry (Obr. 38). Indikátor linkové úrovně je zařazen do každé ze čtyř větví. Ukazuje, jestli zpracováváný signál dosahuje potřebného napětí. To je důležité zejména v mikrofonních větvích. Jestliže by byla nastavena vstupní citlivost vyšší než úroveň vstupního napětí, byl by zpracováván a zesilován zbytečně malý signál náchylný k šumu (malý odstup S/N). Přespříliš silný signál (opačný případ), by mohl mít za následek limitaci signálu v některém z následujících bloků.

Indikace vybuzení na linkovou úroveň je realizována pomocí komparátoru LMLM339 s pevně nastavenou komparační úrovní ( $U_{comp} = +5$  V). Lze ovlivňovat velikost vstupního napětí komparátoru pomocí vstupního zesilovače (NE5532) a odpovídajícího trimru ve zpětné vazbě. Výstupní signál komparátoru je přiváděn na PNP tranzistor ovládající zelenou diodu.

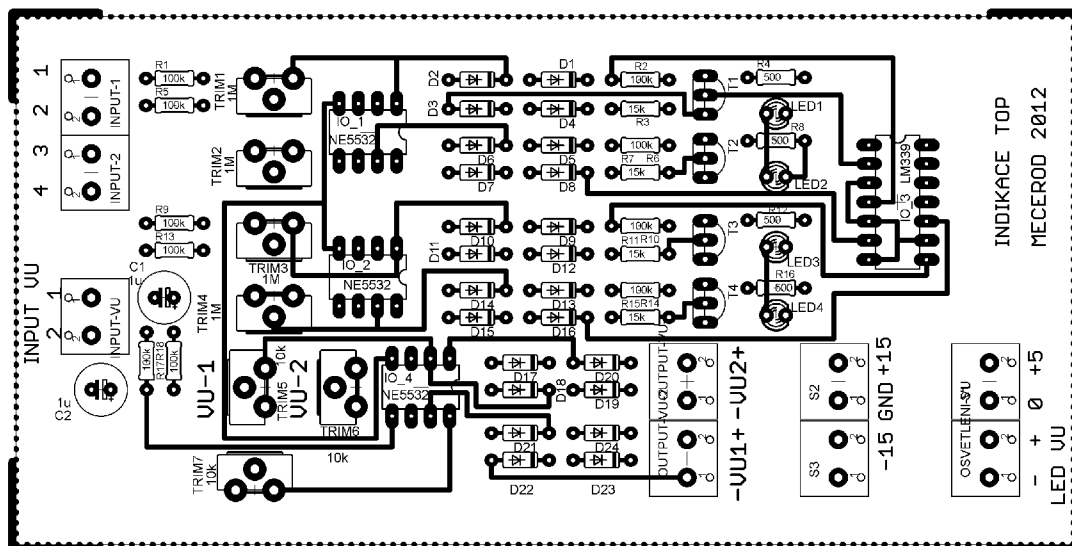
Obvod pro analogové VU metry je realizován jako jednoduchý nízkofrekvenční ampérmetr s vysokým vstupním odporem. Použité měřidlo má vnitřní odpor  $R_i = 650 \Omega$  a citlivost 0,5 mA. Na svorky označené jako *Input-VU* je přiváděn signál ze součtového členu. Pomocí trimru 5 a 6 lze doladit vstupní citlivost indikátoru. Svorky označené jako *osvětlení VU* slouží pro diodový pásek osvětlující VU metry. Pomocí trimru 7 lze nastavovat intenzitu osvětlení.



Obr. 39 DPS indikátorů (TOP)  
(140x70)mm, M1:1



Obr. 40 DPS indikátorů (BOTTOM)  
(140x70)mm, M1:1



Obr. 41 Osazovací plán indikátorů  
(140x70)mm, M1:1  
Seznam součástek Tab.29

## 4.8 Konstrukční řešení horního panelu

Deska horního panelu tvoří hlavní konstrukční prvek celého mixážního pultu. Jako materiál byl zvolen oboustranný cuprextit o rozměrech 297 mm x 420 mm (A3). Za tuto desku jsou zavěšeny potenciometry jednotlivých funkčních bloků. Samotný návrh probíhal v programu AutoCAD 2012 (studentská licence). Výsledný motiv je zrcadlený, protože přenos na desku probíhal fotocestou. Motiv je součástí příloh (Obr. 49)

---

## 5 MĚŘENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU

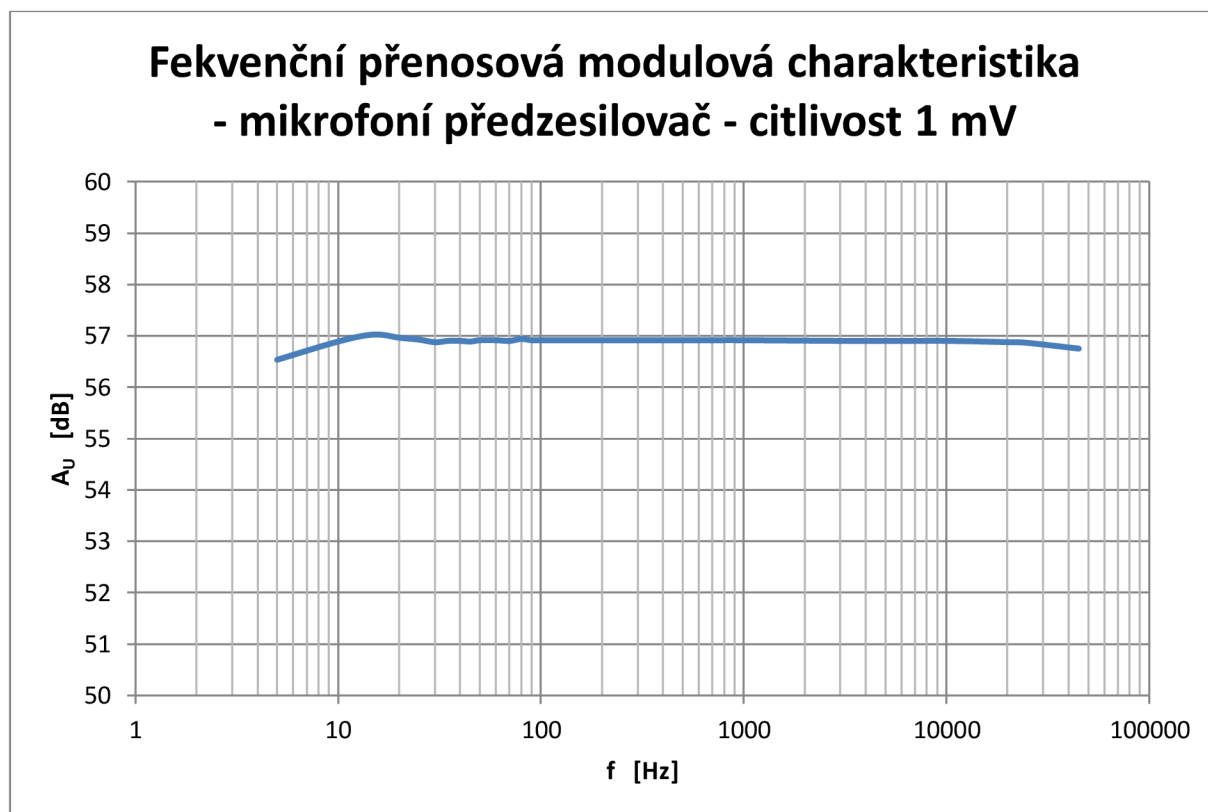
V předchozích kapitolách byly provedeny simulace některých funkčních bloků a byly navrženy kompletní konstrukční podklady. Také byly osazeny a oživeny desky plošných spojů. Po sestavení jednotlivých desek dle blokového schématu (Obr. 2) plní funkci malého mixážního pultu. Pomocí výsledků provedených měření, je možné posoudit kvalitu zařízení a zhodnotit, zda naměřené parametry a charakteristiky odpovídají kladeným požadavkům, či provedeným simulacím.

Měření probíhalo na sestaveném prototypu na vstupech a výstupech funkčních bloků. Byly provedeny měření frekvenčních charakteristik, vstupních odporů a případně dalších specifických parametrů pro daný blok. Frekvenční charakteristiky znázorňují přenos měřeného prvku v pásmu slyšitelných kmitočtů. Ukazují, jak můžeme zdůrazňovat, nebo potlačovat zvuk v daných pásmech, u ekvalizérů. U jiných bloků než korekčních předzesilovačů dávají základní informaci o zkreslení.

Většina částí slučovacího pultu pracuje jako zesilovače napětí. Proto je nutné, aby vstupní odpor jednoho bloku byl větší, než výstupní odpor bloku předchozího. A to přibližně 5 až 10-krát větší.

## 5.1 Měření mikrofonního předzesilovače

Frekvenční přenosová modulová charakteristika:



Obr. 42 Frekvenční přenosová modulová charakteristika mikrofonního předzesilovači – citlivost 1 mV



| f<br>Hz | U <sub>OUT</sub><br>mV | A <sub>U</sub><br>dB |
|---------|------------------------|----------------------|
| 5       | 671                    | 56,53                |
| 10      | 699                    | 56,89                |
| 15      | 710                    | 57,03                |
| 20      | 705                    | 56,96                |
| 25      | 702                    | 56,93                |
| 30      | 698                    | 56,88                |
| 35      | 700                    | 56,90                |
| 40      | 700                    | 56,90                |
| 45      | 699                    | 56,89                |
| 50      | 701                    | 56,91                |
| 60      | 701                    | 56,91                |
| 70      | 700                    | 56,90                |
| 80      | 703                    | 56,94                |
| 90      | 701                    | 56,91                |
| 100     | 701                    | 56,91                |
| 300     | 701                    | 56,91                |
| 500     | 701                    | 56,91                |
| 700     | 701                    | 56,91                |
| 1000    | 701                    | 56,91                |
| 3000    | 700                    | 56,90                |
| 5000    | 700                    | 56,90                |
| 7000    | 700                    | 56,90                |
| 10000   | 700                    | 56,90                |
| 15000   | 699                    | 56,89                |
| 20000   | 698                    | 56,88                |
| 25000   | 697                    | 56,86                |
| 45000   | 688                    | 56,75                |

Tab. 1 Naměřené hodnoty frekvenční přenosová modulová charakteristiky mikrofonního předzesilovače

### Harmonické zkreslení:

| Harmonické zkreslení /citlivost 10mV |                        |                           |                           |              |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| U <sub>IN</sub><br>mV                | U <sub>OUT</sub><br>mV | k <sub>2</sub> (2*f)<br>% | k <sub>3</sub> (3*f)<br>% | THD+N<br>%   |
| 3                                    | 363                    | 0,0445                    | 0,01                      | 0,498        |
| <b>10</b>                            | <b>701</b>             | <b>0,0734</b>             | <b>0,007</b>              | <b>0,266</b> |
| 100                                  | 3900                   | 0,2053                    | 4,122                     | 4,535        |
| 300                                  | 10100                  | 0,2749                    | 2,157                     | 2,659        |
| 400                                  | 11600                  | 0,6252                    | 12,348                    | 12,6         |

Tab. 2 Naměřené hodnoty harmonického zkreslení při vstupní citlivosti 10mV

Vstupní odpor:

$$R_{IN} = 100 \text{ k}\Omega$$

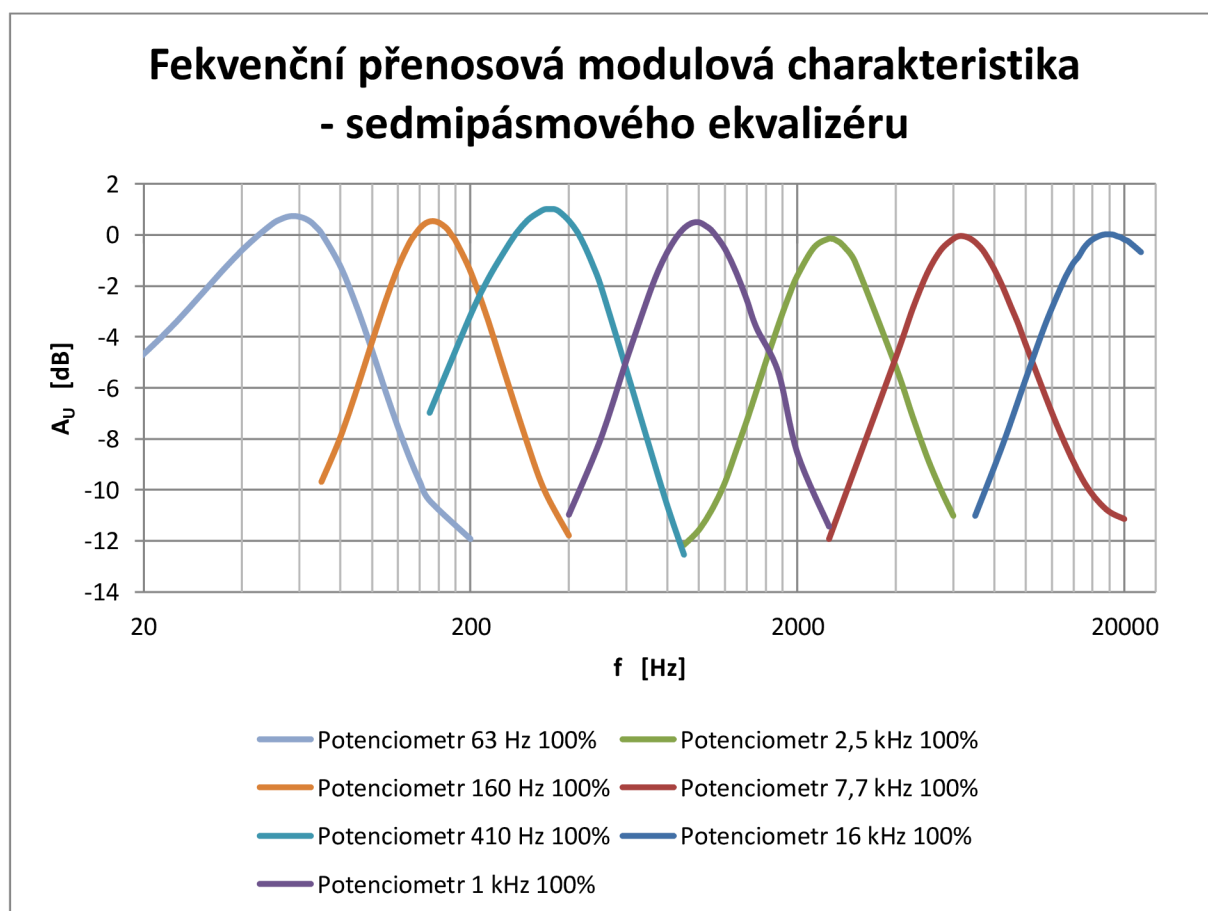
Přebuditelnost:

|                     |    |       |
|---------------------|----|-------|
| $U_{IN}$ limitace   | mV | 303   |
| $U_{OUT}$ jmenovité | mV | 700   |
| $U_{OUT}$ limitace  | mV | 10000 |
| Přebuditelnost      | dB | 23,10 |

Tab. 3 Naměřené hodnoty přebuditelnosti

## 5.2 Měření sedmipásmového ekvalizéru

Frekvenční přenosové modulové charakteristiky:



Obr. 43 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sedmipásmového ekvalizéru (jednotlivá pásma)

| Potenciometr 63 Hz 100% |           |         | Potenciometr 160 Hz 100% |           |         | Potenciometr 410 Hz 100% |           |         |
|-------------------------|-----------|---------|--------------------------|-----------|---------|--------------------------|-----------|---------|
| f [Hz]                  | Uout [mV] | Au [dB] | f [kHz]                  | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                   | Uout [mV] | Au [dB] |
| 15                      | 376       | -6,00   | 100                      | 463       | -4,19   | 200                      | 522       | -3,15   |
| 20                      | 438       | -4,67   | 110                      | 557       | -2,58   | 225                      | 610       | -1,79   |
| 25                      | 504       | -3,45   | 120                      | 648       | -1,27   | 250                      | 685       | -0,79   |
| 30                      | 573       | -2,34   | 130                      | 723       | -0,32   | 275                      | 753       | 0,03    |
| 35                      | 640       | -1,38   | 135                      | 750       | 0,00    | 300                      | 803       | 0,59    |
| 40                      | 700       | -0,60   | 140                      | 773       | 0,26    | 325                      | 832       | 0,90    |
| 45                      | 750       | 0,00    | 145                      | 789       | 0,44    | 337,5                    | 842       | 1,01    |
| 50                      | 792       | 0,47    | 150                      | 797       | 0,53    | 350                      | 843       | 1,02    |
| 52,5                    | 805       | 0,61    | 155                      | 798       | 0,54    | 362,5                    | 842       | 1,01    |
| 57,5                    | 817       | 0,74    | 160                      | 793       | 0,48    | 375                      | 832       | 0,90    |
| 60                      | 814       | 0,71    | 165                      | 783       | 0,37    | 400                      | 800       | 0,56    |
| 65                      | 795       | 0,51    | 170                      | 770       | 0,23    | 425                      | 759       | 0,10    |
| 70                      | 756       | 0,07    | 175                      | 750       | 0,00    | 450                      | 707       | -0,51   |
| 80                      | 651       | -1,23   | 180                      | 731       | -0,22   | 475                      | 652       | -1,22   |
| 90                      | 540       | -2,85   | 200                      | 636       | -1,43   | 500                      | 598       | -1,97   |
| 100                     | 445       | -4,53   | 250                      | 417       | -5,10   | 600                      | 408       | -5,29   |
| 110                     | 370       | -6,14   | 300                      | 290       | -8,25   | 700                      | 293       | -8,16   |
| 120                     | 315       | -7,54   | 350                      | 225       | -10,46  | 800                      | 221       | -10,61  |
| 130                     | 275       | -8,71   | 400                      | 193       | -11,79  | 900                      | 177       | -12,54  |

Tab. 4 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sedmipásmového ekvalizéru

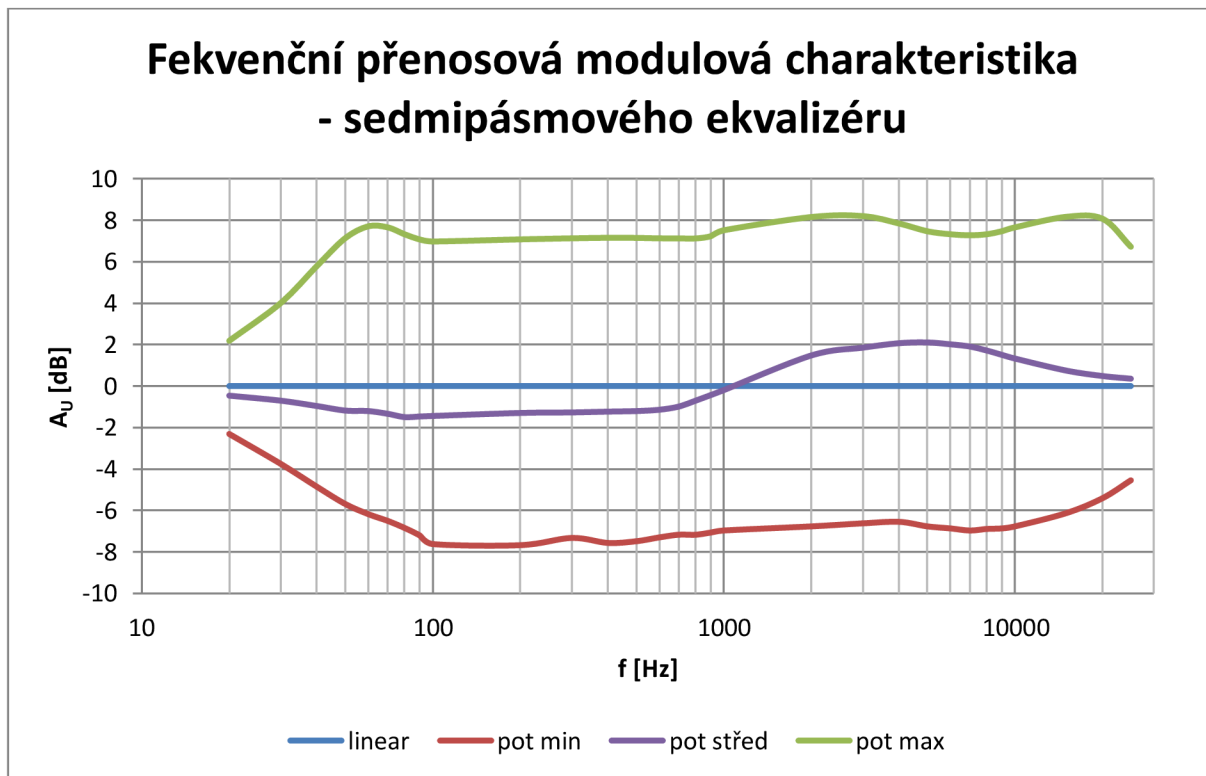
| Potenciometr 1 kHz 100% |           |         | Potenciometr 2,5 kHz 100% |           |         | Potenciometr 7,7 kHz 100% |           |         |
|-------------------------|-----------|---------|---------------------------|-----------|---------|---------------------------|-----------|---------|
| f [Hz]                  | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                    | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                    | Uout [mV] | Au [dB] |
| 400                     | 212       | -10,97  | 1300                      | 283       | -8,47   | 4000                      | 431       | -4,81   |
| 500                     | 298       | -8,02   | 1500                      | 371       | -6,11   | 4500                      | 536       | -2,92   |
| 600                     | 426       | -4,91   | 1600                      | 422       | -4,99   | 5000                      | 632       | -1,49   |
| 700                     | 568       | -2,41   | 1700                      | 473       | -4,00   | 5500                      | 701       | -0,59   |
| 750                     | 637       | -1,42   | 1800                      | 526       | -3,08   | 6000                      | 737       | -0,15   |
| 800                     | 694       | -0,67   | 1900                      | 577       | -2,28   | 6250                      | 746       | -0,05   |
| 850                     | 740       | -0,12   | 2000                      | 624       | -1,60   | 6500                      | 745       | -0,06   |
| 900                     | 773       | 0,26    | 2250                      | 709       | -0,49   | 6750                      | 738       | -0,14   |
| 950                     | 791       | 0,46    | 2500                      | 738       | -0,14   | 7000                      | 726       | -0,28   |
| 1000                    | 794       | 0,50    | 2550                      | 737       | -0,15   | 7250                      | 710       | -0,48   |
| 1050                    | 781       | 0,35    | 2575                      | 737       | -0,15   | 7500                      | 690       | -0,72   |
| 1100                    | 762       | 0,14    | 2600                      | 735       | -0,18   | 8000                      | 643       | -1,34   |
| 1200                    | 705       | -0,54   | 2650                      | 730       | -0,23   | 8500                      | 593       | -2,04   |
| 1300                    | 633       | -1,47   | 2700                      | 725       | -0,29   | 9000                      | 543       | -2,81   |
| 1400                    | 560       | -2,54   | 2750                      | 717       | -0,39   | 9500                      | 500       | -3,52   |
| 1500                    | 493       | -3,64   | 2800                      | 708       | -0,50   | 10000                     | 457       | -4,30   |
| 1750                    | 403       | -5,40   | 3000                      | 665       | -1,04   | 12500                     | 316       | -7,51   |
| 2000                    | 280       | -8,56   | 4000                      | 414       | -5,16   | 15000                     | 247       | -9,65   |
| 2500                    | 201       | -11,44  | 4500                      | 331       | -7,10   | 17500                     | 218       | -10,73  |

Tab. 5 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sedmipásmového ekvalizéru

---

| Potenciometr 16 kHz 100% |              |            |
|--------------------------|--------------|------------|
| f<br>[Hz]                | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] |
| 11500                    | 503          | -3,47      |
| 13000                    | 606          | -1,85      |
| 13500                    | 636          | -1,43      |
| 14000                    | 662          | -1,08      |
| 14500                    | 680          | -0,85      |
| 15000                    | 705          | -0,54      |
| 15500                    | 723          | -0,32      |
| 16000                    | 735          | -0,18      |
| 16500                    | 743          | -0,08      |
| 17000                    | 749          | -0,01      |
| 18000                    | 752          | 0,02       |
| 19000                    | 746          | -0,05      |
| 19500                    | 742          | -0,09      |
| 20000                    | 735          | -0,18      |
| 20500                    | 730          | -0,23      |
| 21000                    | 721          | -0,34      |
| 21500                    | 712          | -0,45      |
| 22000                    | 703          | -0,56      |
| 22500                    | 694          | -0,67      |

Tab. 6 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sedmipásmového ekvalizéru



Obr. 44 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sedmipásmového ekvalizéru (celkový přenos)

| linear  |            |          |
|---------|------------|----------|
| f<br>Hz | Uout<br>mV | Au<br>dB |
| 20      | 770        | 0,00     |
| 40      | 770        | 0,00     |
| 60      | 770        | 0,00     |
| 80      | 770        | 0,00     |
| 100     | 770        | 0,00     |
| 400     | 770        | 0,00     |
| 600     | 770        | 0,00     |
| 800     | 770        | 0,00     |
| 1000    | 770        | 0,00     |
| 4000    | 770        | 0,00     |
| 6000    | 770        | 0,00     |
| 7000    | 770        | 0,00     |
| 8000    | 770        | 0,00     |
| 10000   | 770        | 0,00     |
| 15000   | 770        | 0,00     |
| 20000   | 770        | 0,00     |
| 25000   | 770        | 0,00     |

Tab. 7 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sedmipásmového ekvalizéru

| pot min   |              |            | pot max   |              |            | pot střed |              |            |
|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|-----------|--------------|------------|
| f<br>[Hz] | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] | f<br>[Hz] | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] | f<br>[Hz] | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] |
| 20        | 590          | -2,31      | 20        | 990          | 2,18       | 20        | 730          | -0,46      |
| 30        | 500          | -3,75      | 30        | 1220         | 4,00       | 30        | 710          | -0,70      |
| 40        | 440          | -4,86      | 40        | 1500         | 5,79       | 40        | 689          | -0,97      |
| 50        | 400          | -5,69      | 50        | 1750         | 7,13       | 50        | 672          | -1,18      |
| 60        | 378          | -6,18      | 60        | 1870         | 7,71       | 60        | 670          | -1,21      |
| 70        | 364          | -6,51      | 70        | 1860         | 7,66       | 70        | 660          | -1,34      |
| 80        | 350          | -6,85      | 80        | 1790         | 7,33       | 80        | 648          | -1,50      |
| 90        | 336          | -7,20      | 90        | 1740         | 7,08       | 90        | 650          | -1,47      |
| 100       | 320          | -7,63      | 100       | 1720         | 6,98       | 100       | 652          | -1,44      |
| 200       | 318          | -7,68      | 200       | 1740         | 7,08       | 200       | 663          | -1,30      |
| 300       | 331          | -7,33      | 300       | 1750         | 7,13       | 300       | 665          | -1,27      |
| 400       | 322          | -7,57      | 400       | 1755         | 7,16       | 400       | 668          | -1,23      |
| 500       | 325          | -7,49      | 500       | 1754         | 7,15       | 500       | 670          | -1,21      |
| 600       | 332          | -7,31      | 600       | 1750         | 7,13       | 600       | 675          | -1,14      |
| 700       | 337          | -7,18      | 700       | 1749         | 7,13       | 700       | 687          | -0,99      |
| 800       | 337          | -7,18      | 800       | 1749         | 7,13       | 800       | 710          | -0,70      |
| 900       | 341          | -7,07      | 900       | 1770         | 7,23       | 900       | 732          | -0,44      |
| 1000      | 345          | -6,97      | 1000      | 1830         | 7,52       | 1000      | 753          | -0,19      |
| 2000      | 353          | -6,77      | 2000      | 1970         | 8,16       | 2000      | 913          | 1,48       |
| 3000      | 359          | -6,63      | 3000      | 1980         | 8,20       | 3000      | 953          | 1,85       |
| 4000      | 362          | -6,56      | 4000      | 1900         | 7,85       | 4000      | 977          | 2,07       |
| 5000      | 353          | -6,77      | 5000      | 1820         | 7,47       | 5000      | 981          | 2,10       |
| 6000      | 349          | -6,87      | 6000      | 1790         | 7,33       | 6000      | 971          | 2,01       |
| 7000      | 345          | -6,97      | 7000      | 1780         | 7,28       | 7000      | 959          | 1,91       |
| 8000      | 348          | -6,90      | 8000      | 1790         | 7,33       | 8000      | 938          | 1,71       |
| 9000      | 349          | -6,87      | 9000      | 1820         | 7,47       | 9000      | 916          | 1,51       |
| 10000     | 353          | -6,77      | 10000     | 1860         | 7,66       | 10000     | 897          | 1,33       |
| 15000     | 380          | -6,13      | 15000     | 1972         | 8,17       | 15000     | 839          | 0,75       |
| 20000     | 413          | -5,41      | 20000     | 1950         | 8,07       | 20000     | 814          | 0,48       |
| 25000     | 456          | -4,55      | 25000     | 1670         | 6,72       | 25000     | 802          | 0,35       |

Tab. 8 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sedmipásmového ekvalizéru

| Pásmo                  | 1  | 2   | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    |
|------------------------|----|-----|-----|------|------|------|------|
| Teoretická $f_R$ [Hz]  | 63 | 160 | 410 | 1000 | 2500 | 7700 | 1600 |
| Změřená $f_R$ [Hz]     | 63 | 160 | 350 | 950  | 2300 | 6500 | 1600 |
| Rozdíl $\Delta f$ [Hz] | 0  | 0   | 60  | 50   | 200  | 1200 | 0    |

Tab. 9 Odchylka rezonančních frekvencí  $f_R$

| Pásmo                 | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $f_1$ [Hz]            | 15   | 105  | 200  | 600  | 1700 | 4500 | 10000 |
| $f_2$ [Hz]            | 80   | 260  | 475  | 1500 | 3800 | 9500 | 30000 |
| $B_{ZMĚŘENÁ}$ [Hz]    | 65   | 155  | 275  | 900  | 2100 | 5000 | 20000 |
| $Q_{TEORETICKÁ}$ [-]  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9  | 0,9   |
| $Q_{ZMĚŘENÁ}$ [-]     | 0,97 | 1,03 | 1,27 | 1,06 | 1,10 | 1,30 | 0,80  |
| Rozdíl $\Delta Q$ [-] | 0,07 | 0,13 | 0,37 | 0,16 | 0,20 | 0,40 | 0,10  |

Tab. 10 Odchylka jakosti Q pásmových filtrů

### Harmonické zkreslení:

| Harmonické zkreslení EQ - on (pot 1kHz max) |            |              |              |              |
|---|------------|--------------|--------------|--------------|
| $U_{IN}$                                    | $U_{OUT}$  | $k_2(2*f)$   | $k_3(3*f)$   | THD+N        |
| mV  | mV         | %            | %            | %            |
| 350   | 418        | 0,097        | 0,058        | 0,127        |
| <b>750</b>                                  | <b>906</b> | <b>0,088</b> | <b>0,239</b> | <b>0,266</b> |
| 5000  | 6590       | 0,0755       | 0,743        | 0,766        |
| 7000  | 9380       | 0,923        | 0,45         | 1,61         |

Tab. 11 Harmonické zkreslení sedmipásmového ekvalizéru při maximálním zesílení pásma 1kHz

| Harmonické zkreslení EQ - off |            |               |               |              |
|-------------------------------|------------|---------------|---------------|--------------|
| $U_{IN}$                      | $U_{OUT}$  | $k_2(2*f)$    | $k_3(3*f)$    | THD+N        |
| mV                            | mV         | %             | %             | %            |
| 350                           | 344        | 0             | 0             | 0,061        |
| <b>750</b>                    | <b>738</b> | <b>0,0006</b> | <b>0,0028</b> | <b>0,025</b> |
| 5000                          | 4920       | 0,0035        | 0             | 0,02         |
| 7000                          | 6890       | 0,0049        | 0,0013        | 0,014        |

Tab. 12 Harmonické zkreslení sedmipásmového ekvalizéru při aktivaci BYPASS

### Vstupní odpor:

$$R_{IN} = 50 \text{ k}\Omega$$

### Přebuditelnost:

---

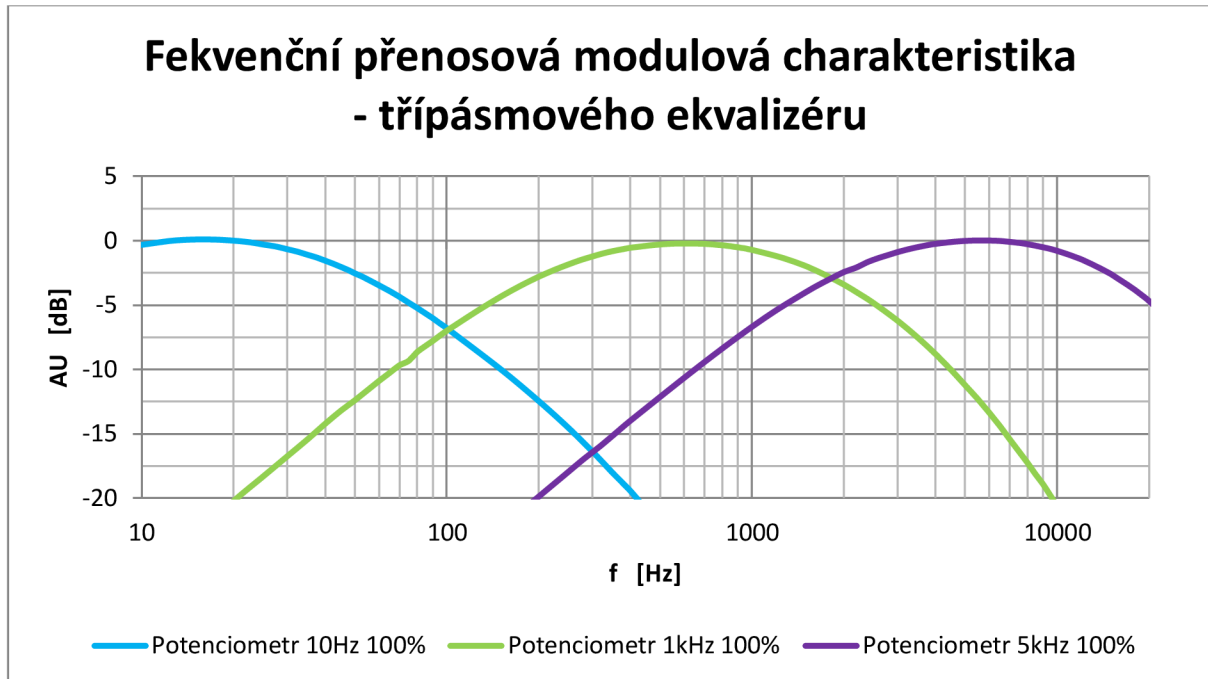
|                     |    |       |
|---------------------|----|-------|
| $U_{IN}$ limitace   | mV | 6750  |
| $U_{OUT}$ jmenovité | mV | 750   |
| $U_{OUT}$ limitace  | mV | 9100  |
| Přebuditelnost      | dB | 21,68 |

Tab. 13 Naměřené hodnoty přebuditelnosti



### 5.3 Měření třípásmového ekvalizéru

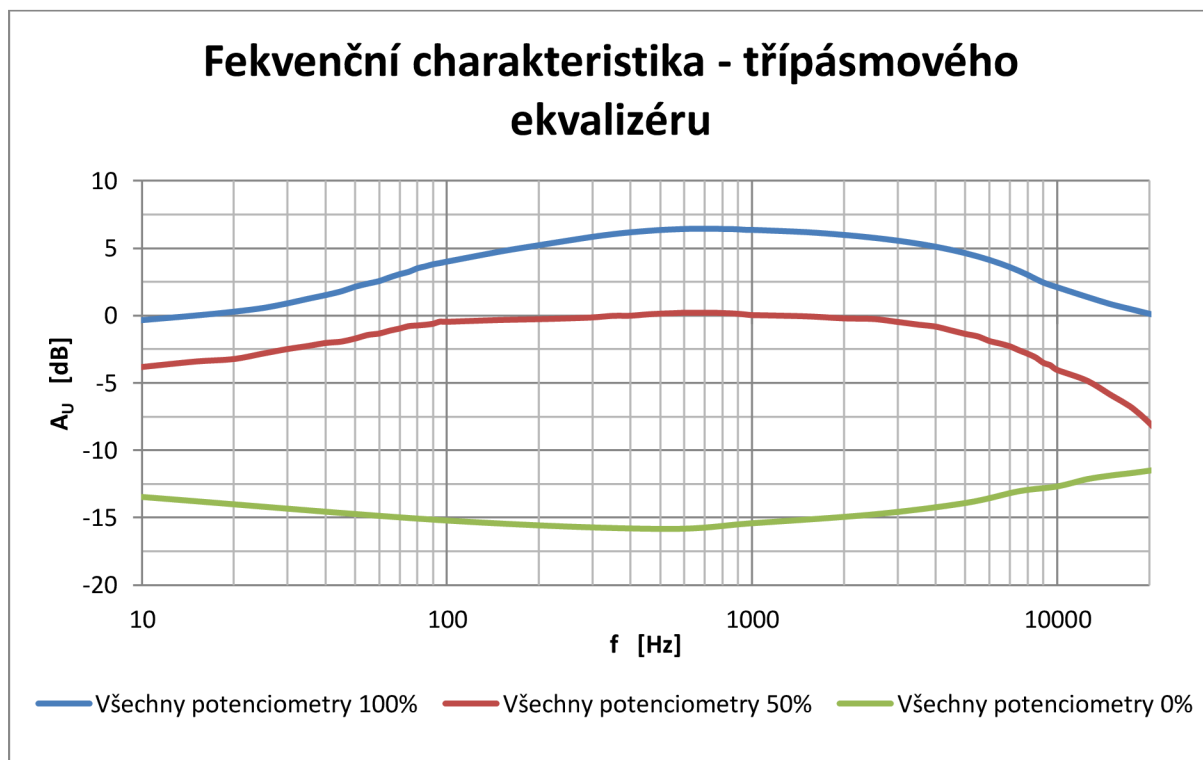
Frekvenční přenosové modulové charakteristiky:



Obr. 45 Frekvenční přenosová modulová charakteristika třípásmového ekvalizéru (jednotlivá pásma)

| Potenciometr 10 Hz 100% |           |         | Potenciometr 10 kHz 100% |           |         | Potenciometr 5 kHz 100% |           |         |
|-------------------------|-----------|---------|--------------------------|-----------|---------|-------------------------|-----------|---------|
| f [Hz]                  | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                   | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                  | Uout [mV] | Au [dB] |
| 10                      | 723       | -0,32   | 300                      | 651       | -1,23   | 1000                    | 347       | -6,69   |
| 15                      | 758       | 0,09    | 350                      | 683       | -0,81   | 1400                    | 450       | -4,44   |
| 20                      | 750       | 0,00    | 400                      | 704       | -0,55   | 1800                    | 532       | -2,98   |
| 25                      | 725       | -0,29   | 450                      | 716       | -0,40   | 2200                    | 590       | -2,08   |
| 30                      | 695       | -0,66   | 500                      | 725       | -0,29   | 2600                    | 642       | -1,35   |
| 35                      | 661       | -1,10   | 550                      | 730       | -0,23   | 3000                    | 677       | -0,89   |
| 40                      | 627       | -1,56   | 600                      | 731       | -0,22   | 3400                    | 703       | -0,56   |
| 45                      | 593       | -2,04   | 650                      | 731       | -0,22   | 3800                    | 722       | -0,33   |
| 50                      | 560       | -2,54   | 700                      | 729       | -0,25   | 4600                    | 743       | -0,08   |
| 55                      | 531       | -3,00   | 750                      | 725       | -0,29   | 5800                    | 751       | 0,01    |
| 60                      | 503       | -3,47   | 800                      | 720       | -0,35   | 7000                    | 742       | -0,09   |
| 70                      | 454       | -4,36   | 850                      | 714       | -0,43   | 8200                    | 723       | -0,32   |
| 80                      | 411       | -5,22   | 900                      | 707       | -0,51   | 9400                    | 699       | -0,61   |
| 90                      | 375       | -6,02   | 950                      | 700       | -0,60   | 11000                   | 660       | -1,11   |
| 100                     | 343       | -6,80   | 1000                     | 691       | -0,71   | 13000                   | 608       | -1,82   |
| 150                     | 238       | -9,97   | 1500                     | 598       | -1,97   | 15000                   | 557       | -2,58   |
| 200                     | 179       | -12,44  | 2000                     | 507       | -3,40   | 17000                   | 506       | -3,42   |
| 250                     | 141       | -14,52  | 2500                     | 430       | -4,83   | 19000                   | 460       | -4,25   |
| 300                     | 114       | -16,36  | 3000                     | 367       | -6,21   | 26000                   | 327       | -7,21   |

Tab. 14 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik třípásmového ekvalizéru



Obr. 46 Frekvenční přenosová modulová charakteristika třípásmového ekvalizéru (celkový přenos)

| Všechny potenciometry 0% |           |         |
|--------------------------|-----------|---------|
| f [Hz]                   | Uout [mV] | Au [dB] |
| 10                       | 159       | -13,47  |
| 100                      | 130       | -15,22  |
| 500                      | 121       | -15,85  |
| 1000                     | 127       | -15,43  |
| 2500                     | 137       | -14,77  |
| 5000                     | 151       | -13,92  |
| 7500                     | 167       | -13,05  |
| 10000                    | 174       | -12,69  |
| 12500                    | 185       | -12,16  |
| 15000                    | 191       | -11,88  |
| 17500                    | 195       | -11,70  |
| 20000                    | 199       | -11,52  |
| 22500                    | 203       | -11,35  |

Tab. 15 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik třípásmového ekvalizéru

| Všechny potencometry 50% |           |         | Všechny potencometry 100% |           |         |
|--------------------------|-----------|---------|---------------------------|-----------|---------|
| f [Hz]                   | Uout [mV] | Au [dB] | f [Hz]                    | Uout [mV] | Au [dB] |
| 30                       | 563       | -2,49   | 30                        | 832       | 0,90    |
| 40                       | 593       | -2,04   | 40                        | 893       | 1,52    |
| 50                       | 616       | -1,71   | 50                        | 959       | 2,14    |
| 60                       | 643       | -1,34   | 60                        | 1007      | 2,56    |
| 70                       | 671       | -0,97   | 70                        | 1068      | 3,07    |
| 80                       | 689       | -0,74   | 80                        | 1123      | 3,51    |
| 90                       | 699       | -0,61   | 90                        | 1162      | 3,80    |
| 100                      | 711       | -0,46   | 100                       | 1189      | 4,00    |
| 200                      | 727       | -0,27   | 200                       | 1368      | 5,22    |
| 300                      | 738       | -0,14   | 300                       | 1470      | 5,85    |
| 400                      | 749       | -0,01   | 400                       | 1528      | 6,18    |
| 500                      | 762       | 0,14    | 500                       | 1558      | 6,35    |
| 600                      | 768       | 0,21    | 600                       | 1572      | 6,43    |
| 700                      | 768       | 0,21    | 700                       | 1576      | 6,45    |
| 800                      | 766       | 0,18    | 800                       | 1572      | 6,43    |
| 900                      | 761       | 0,13    | 900                       | 1567      | 6,40    |
| 1000                     | 753       | 0,03    | 1000                      | 1560      | 6,36    |
| 2000                     | 732       | -0,21   | 2000                      | 1494      | 5,99    |
| 3000                     | 710       | -0,48   | 3000                      | 1422      | 5,56    |
| 4000                     | 682       | -0,83   | 4000                      | 1350      | 5,11    |
| 5000                     | 641       | -1,36   | 5000                      | 1278      | 4,63    |
| 6000                     | 603       | -1,89   | 6000                      | 1206      | 4,13    |
| 7000                     | 576       | -2,29   | 7000                      | 1134      | 3,59    |
| 8000                     | 541       | -2,84   | 8000                      | 1062      | 3,02    |
| 9000                     | 501       | -3,50   | 9000                      | 995       | 2,46    |
| 10000                    | 471       | -4,04   | 10000                     | 955       | 2,10    |
| 15000                    | 380       | -5,91   | 15000                     | 826       | 0,84    |
| 20000                    | 300       | -7,96   | 20000                     | 762       | 0,14    |

Tab. 16 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik třípásmového ekvalizéru

| Pásmo                  | 1  | 2    | 3    |
|------------------------|----|------|------|
| Teoretická $f_R$ [Hz]  | 10 | 1000 | 5000 |
| Změřená $f_R$ [Hz]     | 15 | 800  | 5200 |
| Rozdíl $\Delta f$ [Hz] | 5  | 200  | 200  |

Tab. 17 Odchylka rezonančních frekvencí  $f_R$

---

### Harmonické zkreslení:

| Harmonické zkreslení EQ - on (pot 1kHz max) |                  |                      |                      |              |
|---|------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| U <sub>IN</sub>                             | U <sub>OUT</sub> | k <sub>2</sub> (2*f) | k <sub>3</sub> (3*f) | THD+N        |
| mV  | mV               | %                    | %                    | %            |
| 350   | 407              | 0,025                | 0,0011               | 0,021        |
| <b>750</b>                                  | <b>874</b>       | <b>0,0021</b>        | <b>0,0033</b>        | <b>0,022</b> |
| 5000  | 5,82             | 0,0062               | 0,0977               | 0,096        |

Tab. 18 Harmonické zkreslení třípásmového ekvalizéru při maximálním zesílení pásma 1kHz

| Harmonické zkreslení EQ - off |                  |                      |                      |              |
|-------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| U <sub>IN</sub>               | U <sub>OUT</sub> | k <sub>2</sub> (2*f) | k <sub>3</sub> (3*f) | THD+N        |
| mV                            | mV               | %                    | %                    | %            |
| 350                           | 329              | 0,0022               | 0,0013               | 0,028        |
| <b>750</b>                    | <b>705</b>       | <b>0,0021</b>        | <b>0,0028</b>        | <b>0,025</b> |
| 5000                          | 4700             | 0,0041               | 0,0003               | 0,02         |

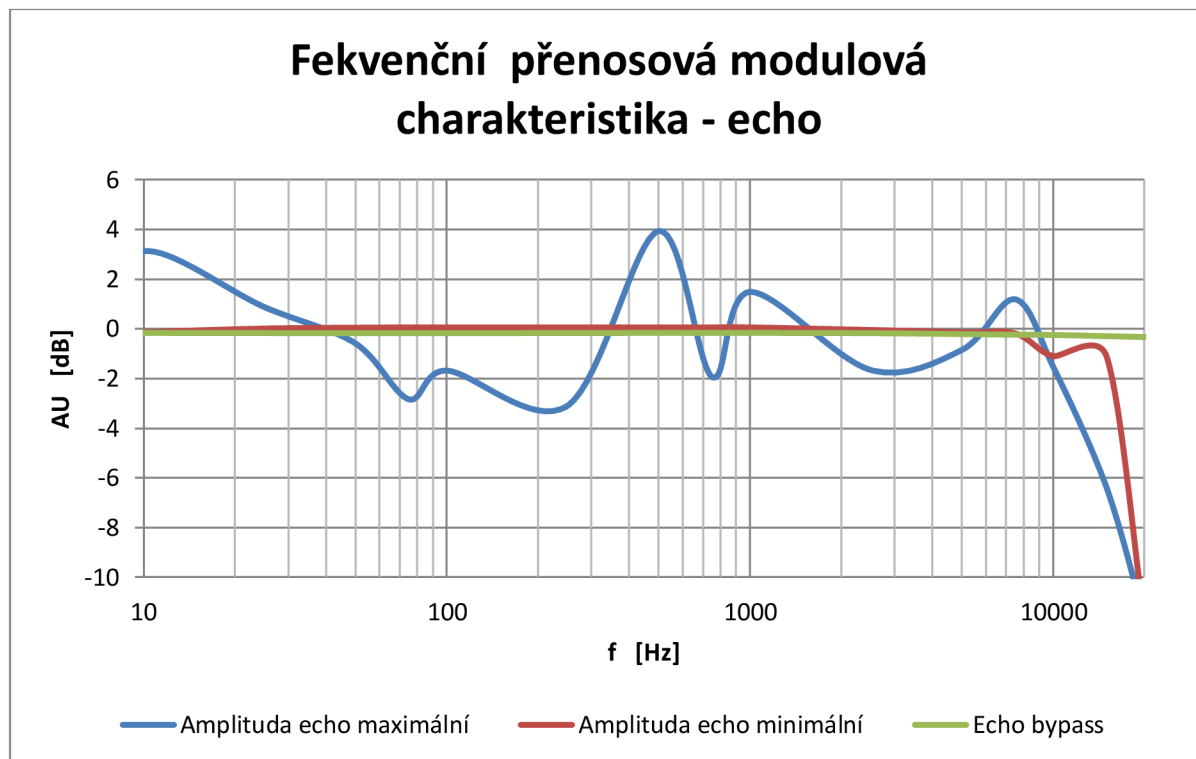
Tab. 19 Harmonické zkreslení třípásmového ekvalizéru při aktivaci BYPASS

### Vstupní odpor:

$$R_{IN} = 1,7 \text{ M}\Omega$$

## 5.4 Měření zpoždovacího členu

Frekvenční přenosová modulová charakteristika:



Obr. 47 Frekvenční přenosová modulová charakteristika zpoždovacího členu

| Amplituda echo maximální |              |            | Amplituda echo minimální |              |            | Echo bypass |              |            |
|--------------------------|--------------|------------|--------------------------|--------------|------------|-------------|--------------|------------|
| f<br>[Hz]                | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] | f<br>[Hz]                | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] | f<br>[Hz]   | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] |
| 1                        | 463          | -4,19      | 1                        | 406          | -5,33      | 1           | 735          | -0,18      |
| 2,5                      | 531          | -3,00      | 2,5                      | 595          | -2,01      | 5           | 737          | -0,15      |
| 5                        | 552          | -2,66      | 5                        | 697          | -0,64      | 10          | 736          | -0,16      |
| 7,5                      | 731          | -0,22      | 7,5                      | 728          | -0,26      | 50          | 735          | -0,18      |
| 10                       | 1074         | 3,12       | 10                       | 738          | -0,14      | 100         | 735          | -0,18      |
| 25                       | 830          | 0,88       | 25                       | 751          | 0,01       | 500         | 736          | -0,16      |
| 50                       | 701          | -0,59      | 50                       | 754          | 0,05       | 1000        | 736          | -0,16      |
| 75                       | 541          | -2,84      | 75                       | 755          | 0,06       | 2500        | 735          | -0,18      |
| 100                      | 618          | -1,68      | 100                      | 755          | 0,06       | 5000        | 732          | -0,21      |
| 250                      | 525          | -3,10      | 250                      | 755          | 0,06       | 7500        | 730          | -0,23      |
| 500                      | 1180         | 3,94       | 500                      | 755          | 0,06       | 10000       | 729          | -0,25      |
| 750                      | 600          | -1,94      | 750                      | 755          | 0,06       | 15000       | 725          | -0,29      |
| 1000                     | 890          | 1,49       | 1000                     | 755          | 0,06       | 20000       | 722          | -0,33      |
| 2500                     | 620          | -1,65      | 2500                     | 746          | -0,05      | 22000       | 720          | -0,35      |
| 5000                     | 680          | -0,85      | 5000                     | 738          | -0,14      |             |              |            |
| 7500                     | 860          | 1,19       | 7500                     | 734          | -0,19      |             |              |            |
| 10000                    | 630          | -1,51      | 10000                    | 661          | -1,10      |             |              |            |
| 15000                    | 360          | -6,38      | 15000                    | 661          | -1,10      |             |              |            |
| 20000                    | 195          | -11,70     | 20000                    | 195          | -11,70     |             |              |            |
| 22000                    | 155          | -13,69     | 22000                    | 156          | -13,64     |             |              |            |

Tab. 20 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik zpožďovacího členu

**Vstupní odpor:**

$$R_{IN} = 100\text{k}\Omega$$

**Doba dozvuku:**

Změřená (reálná) doba dozvuku pro pokles o 20 dB:

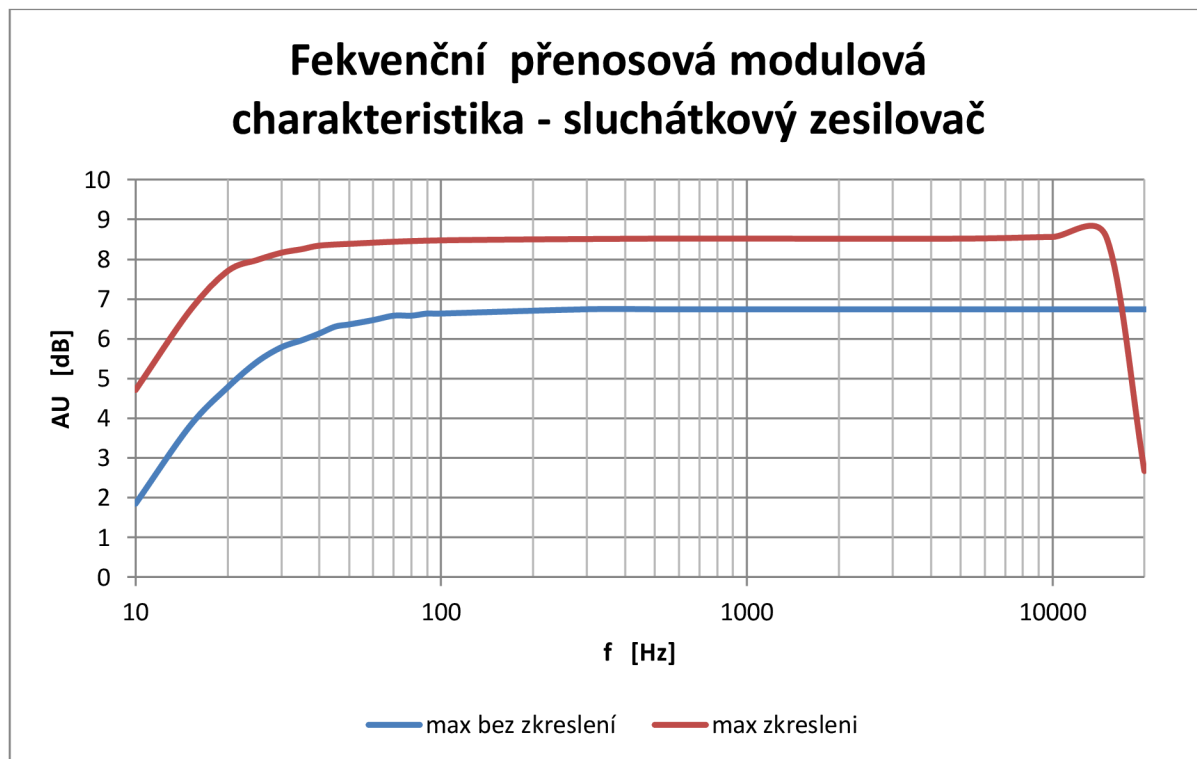
$$t = 1,59 \text{ s.}$$

Teoretická (vypočtená) doba dozvuku pro pokles o 60 dB

$$t = 4,77 \text{ s.}$$

## 5.5 Měření sluchátkového zesilovače

Frekvenční přenosová modulová charakteristika:



Obr. 48 Frekvenční přenosová modulová charakteristika sluchátkového zesilovače

| max bez zkreslení |              |            | max zkreslení |              |            |
|-------------------|--------------|------------|---------------|--------------|------------|
| f<br>[Hz]         | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] | f<br>[Hz]     | Uout<br>[mV] | Au<br>[dB] |
| 10                | 928          | 1,85       | 10            | 1290         | 4,71       |
| 20                | 1300         | 4,78       | 15            | 1620         | 6,69       |
| 30                | 1460         | 5,79       | 20            | 1820         | 7,70       |
| 40                | 1520         | 6,14       | 25            | 1880         | 7,98       |
| 50                | 1560         | 6,36       | 30            | 1920         | 8,16       |
| 60                | 1580         | 6,47       | 35            | 1940         | 8,25       |
| 70                | 1600         | 6,58       | 40            | 1960         | 8,34       |
| 80                | 1600         | 6,58       | 50            | 1970         | 8,39       |
| 90                | 1610         | 6,64       | 100           | 1990         | 8,48       |
| 100               | 1610         | 6,64       | 500           | 2000         | 8,52       |
| 300               | 1630         | 6,74       | 1000          | 2000         | 8,52       |
| 500               | 1630         | 6,74       | 5000          | 2000         | 8,52       |
| 700               | 1630         | 6,74       | 10000         | 2010         | 8,56       |
| 1000              | 1630         | 6,74       | 15000         | 2010         | 8,56       |
| 3000              | 1630         | 6,74       | 20000         | 1020         | 2,67       |
| 5000              | 1630         | 6,74       |               |              |            |
| 7000              | 1630         | 6,74       |               |              |            |
| 10000             | 1630         | 6,74       |               |              |            |
| 15000             | 1630         | 6,74       |               |              |            |
| 20000             | 1630         | 6,74       |               |              |            |

Tab. 21 Naměřené hodnoty frekvenčních charakteristik sluchátkového zesilovače

**Vstupní odpor:**

$$R_{IV} = 110 \text{ k}\Omega$$

**Výstupní výkon:**

|               | UOUT | IOUT | WOUT  | $\eta$ |
|---------------|------|------|-------|--------|
|               | mV   | mA   | mW    | %      |
| Před limitací | 42   | 3,1  | 66,3  | 43     |
| Limitováno    | 53   | 19   | 105,6 | 11     |

Tab. 22 Naměřené hodnoty výstupního výkonu a účinnosti



---

## 5.6 Zhodnocení výsledků měření

Vstupní odpor mikrofonního předzesilovače je  $R_{IN} = 100 \text{ k}\Omega$ . To odpovídá základnímu požadavku, aby  $R_{IN}$  byl cca 5 až 10 krát větší, než výstupní odpor mikrofonu. Ten může dosahovat maximálních hodnot okolo  $10 \text{ k}\Omega$ . Frekvenční přenosová modulová charakteristika byla měřena od  $f_l = 50 \text{ Hz}$  do  $f_h = 45 \text{ kHz}$ . V tomto pásmu je velice vyrovnaná, maximální pokles je o  $0,5 \text{ dB}$ . Rovněž je možné z grafu (Obr. 24) odečíst maximální zesílení  $A_U = 57 \text{ dB}$ . To se liší od předpokládané hodnoty o  $3 \text{ dB}$ . Přebuditelnost dosahuje hodnoty  $23 \text{ dB}$ . To odpovídá vstupnímu napětí  $U_{IN} = 303 \text{ mV}$  při citlivosti  $10 \text{ mV}$ . Harmonické zkreslení bylo měřeno s různými hodnotami vstupního napětí. Nejdůležitější je v tabulce 1 vyznačena tučně. Jedná se hodnotu  $U_{IN} = 10 \text{ mV}$  při nastavené odpovídající citlivosti. Hodnota  $THD+N = 0,266 \%$  je větší než deklarovaná výrobcem. To mohlo být způsobeno návrhem desky plošných spojů, nebo vedením nízkonapěťového signálu z odporového děliče kabely k přepínači.

Na obrázku 26 jsou frekvenční přenosové modulové charakteristiky jednotlivých filtrů (pásmových propustí) sedmipásmového grafického ekvalizéru. Změřené rezonanční frekvence s malými odchylkami odpovídají předpokládaným hodnotám ( $63, 160$  a  $420 \text{ Hz}$  a  $1, 2,5$  a  $7,7 \text{ kHz}$ ). Také jakosti  $Q$  se téměř shodují s předpokladem. Obrázek 27 obsahuje frekvenční přenosové modulové charakteristiky při shodném nastavení všech potenciometrů. A také charakteristiku linear, která odpovídá použití přepínače bypass. Harmonické zkreslení je měřeno s maximálním nastaveným ziskem v pásmu  $1 \text{ kHz}$  (Tab. 5).

Dobrých hodnot celkového harmonického zkreslení a šumu dosahuje třípásmový korekční člen. Kdy při maximálním zesílení v pásmu  $1 \text{ kHz}$   $THD+N$  nižší než při použití přepínače bypass. Přebuditelnost nebylo možné změřit, protože ani při maximálním výstupním napětí z generátoru nedošlo k limitaci. Vstupní odpor odpovídá požadavku nástrojového vstupu, tady  $R_{IN} = 1,7 \text{ M}\Omega$ .

V zpoždovacím členu dochází k poměrně velkému lineárnímu zkreslení při nastavené maximální amplitudě a maximálním čase dozvuku, jak je vidět na grafu (Obr. 29). To může být způsobeno správnou činností digitálního obvodu. Při minimální amplitudě dozvuku je frekvenční přenosová modulová charakteristika vyrovnaná do  $10 \text{ kHz}$ , což je mezní frekvence vstupního filtru procesoru typu dolní propusti. Doba dozvuku se běžně měří pro pokles o  $60 \text{ dB}$ . Pokud není možné změřit takový pokles, jako v tomto případě, změří se čas, za který poklesne výstupní napětí o  $20 \text{ dB}$  a vynásobí se třemi.

Sluchátkový zesilovač má výkon  $P = 66 \text{ mW}$  před limitací napětí. Při limitaci dosahuje v tomto zapojení výkonu  $P_{lim} = 105 \text{ mW}$ . Frekvenční přenosová modulová charakteristika je vyrovnaná. V pásmu  $20 \text{ Hz}$  až  $20 \text{ kHz}$  nedojde k poklesu o  $3 \text{ dB}$ .

---

## 6 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat mixážní pult pro slučování audiosignálů z více zdrojů, vyhovující požadavkům malého hudebního seskupení a domácí reprodukci. V rámci zimního semestru byl proveden návrh blokového schématu celého zařízení a návrh obvodových schémat jednotlivých funkčních bloků. Vlastnosti obvodů byly simulovány v programovém prostředí OrCAD PSpice AD. Pomocí tohoto programu byla některá schémata upravena, aby vyhovovala požadavkům zadání.

V rámci letního semestru byly navrženy kompletní konstrukční podklady pomocí programu EAGEL. Ty se skládají z návrhu desek plošných spojů pro každý funkční blok, osazovacích plánů a soupisek použitých součástek. Dále byl navržen a realizován horní panel mixážního pultu, jako hlavní mechanická konstrukční komponenta. Pro návrh byl využitý program AutoCAD 2012.

Na základě konstrukční dokumentace byl realizován funkční prototyp mixážního pultu.

V laboratoři nízkofrekvenční techniky byla ověřena funkčnost prototypu zařízení a změřeny základní parametry a charakteristiky mixážního pultu. Splněny byly všechny teoretické předpoklady, až na zvýšené hodnoty  $THD+N$  u dvou prvků.

Kompletní prototyp mixážního pultu umožňuje zesilovat, slučovat a frekvenčně i časově upravovat signály ze dvou mikrofonů, elektrického hudebního nástroje a hudebního zařízení s linkovou úrovní. A splňuje požadavky zadání.

---

## LITERATURA

- [1] WIRSUM, S. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN – technická literatura, 2003.
- [2] KÁŇA, L. *Studiová a hudební elektronika*. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.
- [3] VLACHÝ, V. *Praxe zvukové techniky*. Praha: Muzikus, 2000.
- [4] Světla a zvuk, Rubrika pro zájemce o zvukovou a světelnou techniku. *Amatérské rádio*, ročník LIX/2010, č. 9. Amaro, 2010.
- [5] Světla a zvuk, Rubrika pro zájemce o zvukovou a světelnou techniku. *Amatérské rádio*, ročník LIX/2010, č. 10. Amaro, 2010.
- [6] SSM2019 Datasheet [online], Analog Devices, 2003-2011.  
Dostupný na www: <[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/SSM2019.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/SSM2019.pdf)>
- [7] KOTISA, Z. *Nf zesilovače 1. díl*. Praha: BEN – technická literatura, 2001.
- [8] PT2399 Datasheet [online], Princeton Technology Corp., 2000.  
Dostupný na www: <<http://www.pselectronic.cz/pdf/1120/1120891.pdf>>
- [9] TPA6110A2 Datasheet [online], Texas Instruments, 2011.  
Dostupný na www: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tpa6110a2.pdf>>
- [10] ŠPAČEK, J. *Mixážní pult pro směšování nízkofrekvenčních signálů*. Bakalářská práce. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010.
- [11] Douglas, S. *Small signal audio design*. Oxford: Focal Press, 2010.

---

# PŘÍLOHY

## A Seznam součástek

| Součástka | Hodnota      | Součástka  | Hodnota             |
|-----------|--------------|------------|---------------------|
| C1        | 47u          | RIN1       | 10M                 |
| C2        | 47u/63v      | RIN2       | 47k                 |
| C3        | 47u/63v      | RIN2-2     | 10k                 |
| C4        | 100n         | RIN3       | 10k                 |
| C5        | 100n         | RIN4       | 2k2                 |
| C6        | 100n         | RIN4-2     | 680R                |
| C7        | 47u/25v      | RIN5       | 680R                |
| C8        | 47u/25v      | RIN5-2     | 220R                |
| C9        | 100n         | RIN6       | 10M                 |
| C10       | 100n         | RIN7       | 47k                 |
| D1        | 1N4148DO35-7 | RIN7-2     | 10k                 |
| D2        | 1N4148DO35-7 | RIN8       | 10k                 |
| D3        | 1N4148DO35-7 | RIN9       | 2k2                 |
| D4        | 1N4148DO35-7 | RIN9-2     | 680R                |
| R1        | 6k8          | RIN10      | 680R                |
| R2        | 47k          | RIN10-2    | 220R                |
| R3        | 6k8          | P1         | 2k2                 |
| R4        | 10 $\Omega$  | IO_1       | SSM2019             |
| R5        | 10 $\Omega$  | IO_2       | OP07                |
| R6        | 2k2          | S1         | SVORKOVNICE_2X      |
| R7        | 2k2          | S2         | SVORKOVNICE_2X      |
| R8        | 8R2          | PREPINAC 1 | otočný 2x6 kontaktů |
| R9        | 1M           | PREPINAC 2 | jednopólový ON-ON   |
| R-IN-1    | 100k         | CINCH1     | CINCH do DPS 90°    |
| R-IN-2    | 100k         | XLR1       | XLR                 |

Tab. 23 Seznam součástek mikrofonního předzesilovače

| Součástka | Hodnota | Součástka                             | Hodnota            |
|-----------|---------|---------------------------------------|--------------------|
| C1        | 470n    | R1, 2, 5, 7, 9, 11, 13, 15,<br>26, 29 | 1k5                |
| C2        | 470n    |                                       |                    |
| C3        | 330n    | R3, 4, 6, 8, 10, 12, 14               | 1k8                |
| C4        | 470n    | R16, 17                               | 2k7                |
| C5        | 33n     | R18                                   | 130k               |
| C6        | 100n    | R19                                   | 51k                |
| C7        | 100n    | R20                                   | 110k               |
| C8        | 47n     | R21                                   | 91k                |
| C9        | 33n     | R22                                   | 68k                |
| C10       | 33n     | R23                                   | 62k                |
| C11       | 10n     | R24                                   | 82k                |
| C12       | 2n2     | R25, 27, 28, 30                       | 100k               |
| C13       | 4n7     | TRIM1 - 10                            | 100k               |
| C14       | 22n     | P1 - 7                                | 10k                |
| C15       | 10n     | IO1 - 10                              | TL071              |
| C16       | 4n7     | S1                                    | SVORKOVNICE_2X     |
| C17       | 2n2     | S2                                    | SVORKOVNICE_2X     |
| C18       | 1n      | PREPINAC 1                            | jednopolový ON-ON  |
| C19       | 470p    | IN-EQ                                 | Cinch do DPS přímý |
| C20       | 220p    | OUT-EQ                                | Cinch do DPS přímý |

Tab. 24 Seznam součástek sedmipásmového ekvalizéru

| Součástka   | Hodnota  | Součástka     | Hodnota            |
|-------------|----------|---------------|--------------------|
| C1, 5, 15   | 100n     | R13, 14       | 1k                 |
| C2          | 100u/25V | R15 - 19      | 100k               |
| C3          | 47u/25V  | R20, 21       | 1M                 |
| C4          | 4,7u/25V | R22, 23       | 1,5M               |
| C6, 7       | 82n      | P1            | 20k                |
| C8          | 560p     | P2            | 50k                |
| C9          | 3,3n     | P3            | 22k                |
| C10         | 10n      | P4            | 100k               |
| C11         | 10u/25V  | IO_1          | PT2399             |
| C12         | 560p     | IO_2          | NJM4580            |
| C13         | 4,7u/25V | IO_3          | NJM4580            |
| C14         | 3,9n     | S1            | SVORKOVNICE_2X     |
| C16 - 18    | 10u/25V  | S2            | SVORKOVNICE_2X     |
| R1          | 2k3      | S3            | SVORKOVNICE_2X     |
| R2, 3, 7, 8 | 10k      | PPREPINAC     | jednopolový ON-ON  |
| R4, 9       | 15k      | IN            | Cinch do DPS přímý |
| R5          | 5k6      | OUT-L         | Cinch do DPS přímý |
| R6          | 18k      | OUT-P         | Cinch do DPS přímý |
| R10         | 3k       | OUT-SLUCHATKA | Cinch do DPS přímý |
| R11         | 4k7      |               |                    |

Tab. 25 Seznam součástek zpoždovacího členu

| Součástka           | Hodnota | Součástka | Hodnota            |
|---------------------|---------|-----------|--------------------|
| C1                  | 100n    | TRIM1     | 1k                 |
| C2, 9, 12, 13       | 10u/25V | P1        | 10k                |
| C3                  | 22n     | P2        | 10k                |
| C4                  | 22n     | P3        | 10k                |
| C5                  | 4,7n    | P4        | 22k                |
| C6                  | 4,7n    | P5        | 100k               |
| C7                  | 2,2n    | IO1       | TL071              |
| C8                  | 2,2n    | IO2       | TL071              |
| R1                  | 10M     | IO3       | TL071              |
| R2 - 8              | 47k     | S1        | SVORKOVNICE_2X     |
| R9                  | 4,7k    | S2        | SVORKOVNICE_2X     |
| R12, 13             | 1k      | PREPINAC  | jedno pólový ON-ON |
| R14, 15             | 3K      | JACK1     | JACK-DPS-6,3       |
| R16, 17, 19         | 1k5     | OUT_L     | Cinch do DPS přímý |
| R10, 11, 18 (trimr) | 100k    | OUT_R     | Cinch do DPS přímý |

Tab. 26 Seznam součástek třípásmového ekvalizéru

| Součástka | Hodnota            | Součástka       | Hodnota            |
|-----------|--------------------|-----------------|--------------------|
| R1, 2     | 1k5                | LINK_P          | Cinch do DPS přímý |
| RE1 - 10  | 3k                 | MIC(1)_L        | Cinch do DPS přímý |
| RG        | 100Ω               | MIC(1)_P        | Cinch do DPS přímý |
| RG1       | 100Ω               | MIC(2)_L        | Cinch do DPS přímý |
| RK        | 3k                 | MIC(2)_P        | Cinch do DPS přímý |
| RK1       | 3k                 | NÁSTROJ_L       | Cinch do DPS přímý |
| TRIM1, 2  | 100k               | NÁSTROJ_P       | Cinch do DPS přímý |
| P1        | 1k                 | OUT_L           | Cinch do DPS přímý |
| IO1       | TL071              | OUT_P           | Cinch do DPS přímý |
| IO2       | TL071              | POMOCNÝ_L       | Cinch do DPS přímý |
| S1        | SVORKOVNICE_2X     | POMOCNÝ_P       | Cinch do DPS přímý |
| S2        | SVORKOVNICE_2X     | SLUCHATKA_OUT_L | Cinch do DPS přímý |
| JACK1     | JACK-DPS-6,3       | SLUCHATKA_OUT_P | Cinch do DPS přímý |
| LINK_L    | Cinch do DPS přímý |                 |                    |

Tab. 27 Seznam součástek slučovacího členu

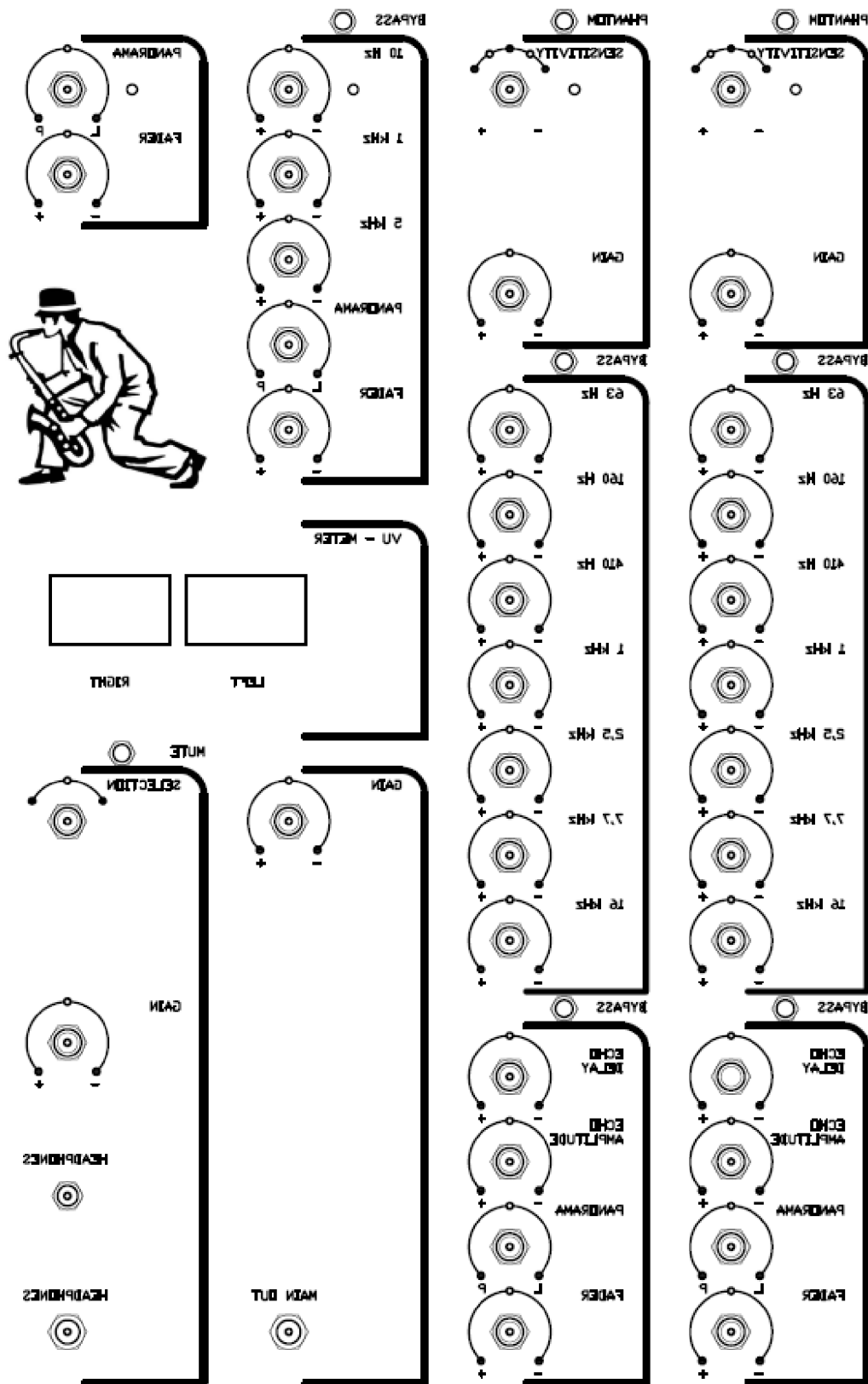
| Part     | Value | Part          | Value               |
|----------|-------|---------------|---------------------|
| C(B)     | 1u    | R2, 3         | 1k5                 |
| C(C-L)   | 68u   | TRIM1, 2      | 100k                |
| C(C-P)   | 68u   | P1            | 10k                 |
| C(I-L)   | 680n  | IO1           | TL071               |
| C(I-P)   | 680n  | IO2           | TL071               |
| C(S-1)   | 10u   | IO_1          | TPA6110-A2          |
| C(S-2)   | 0,1u  | S1            | SVORKOVNICE_2X      |
| R(F-L)   | 47k   | S2            | SVORKOVNICE_2X      |
| R(F-P)   | 47k   | PREPINAC 1    | otočný 3X4 kontaktů |
| R(I-L)   | 15k   | PREPINAC MUTE | jednopolový ON-ON   |
| R(I-P)   | 15k   | JACK1         | JACK-DPS-6,3mm      |
| R(OUT-L) | 1k    | JACK2         | JACK-DPS-3,5mm      |
| R(OUT-P) | 1k    | IN-ECHO-1, 2  | Cinch do DPS přímý  |
| R1, 4    | 800k  | IN-L, P       | Cinch do DPS přímý  |

Tab. 28 Seznam součástek sluchátkového zesilovače

| Součástka                             | Hodnota      | Součástka      | Hodnota        |
|---------------------------------------|--------------|----------------|----------------|
| C1, 2                                 | 1u/25V       | T1 - 4         | C32740         |
| D1 - 24                               | 1N4148DO35-7 | S1 - 3         | SVORKOVNICE_2X |
| R1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14,<br>17, 18 | 100k         | INPUT-1        | SVORKOVNICE_2X |
|                                       |              | INPUT-2        | SVORKOVNICE_2X |
| R3, 7, 11, 15                         | 15k          | INPUT-VU       | SVORKOVNICE_2X |
| R4, 8, 12, 16                         | 500          | OSVETLENI-VU   | SVORKOVNICE_2X |
| TRIM1 - 4                             | 1M           | OUTPUT-VU-1, 2 | SVORKOVNICE_2X |
| TRIM5 - 7                             | 10k          | LED 1 - 4      | zelená 3mm     |
| IO_1 - 4                              | NE5532       |                |                |

Tab. 29 Seznam součástek indikace

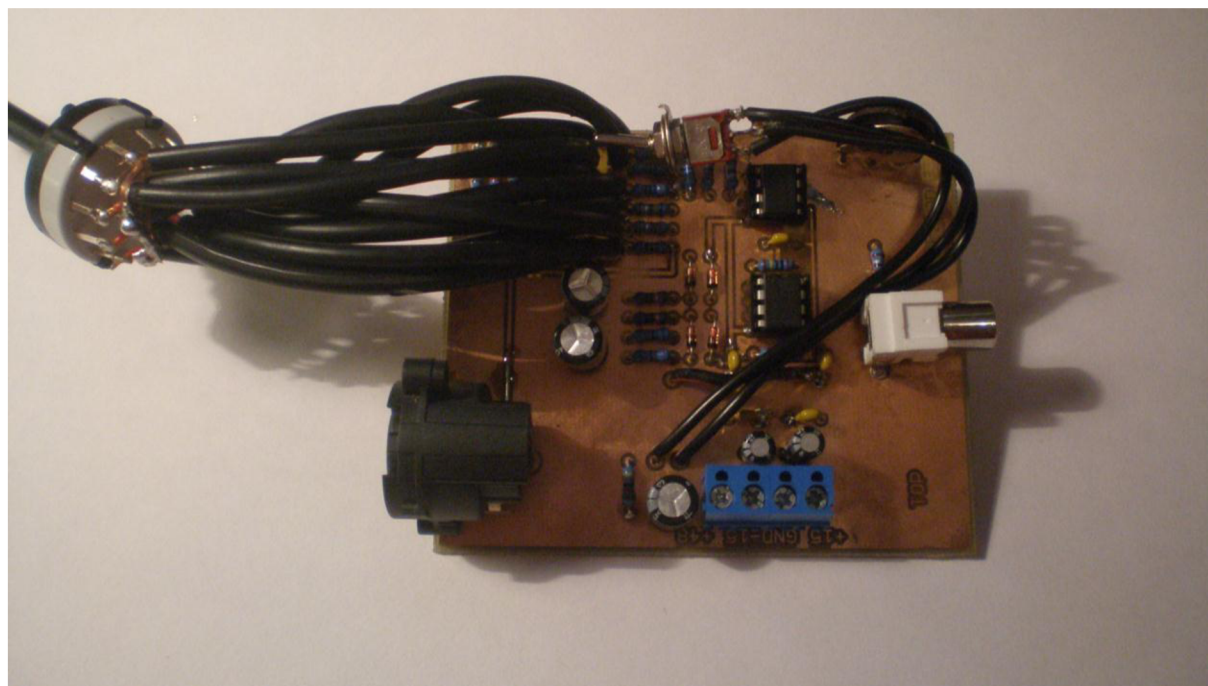
## B Horní panel



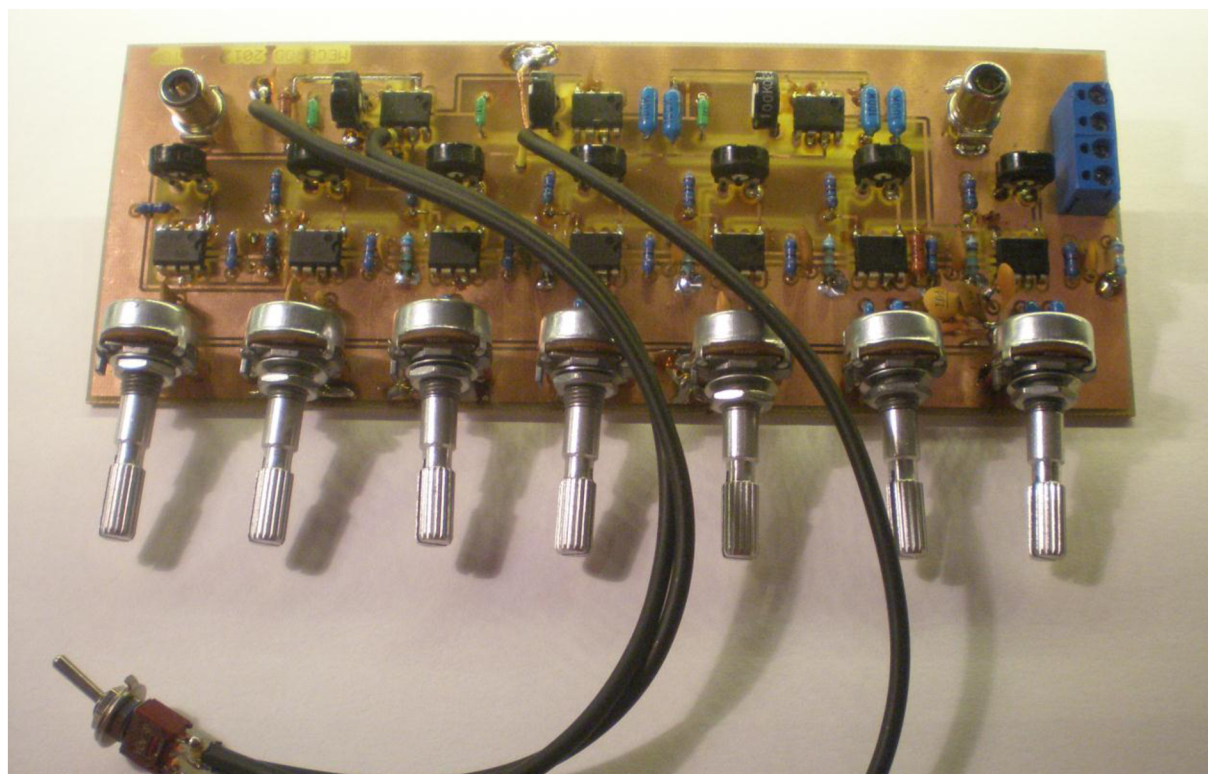
Obr. 49 Zrcadlený návrh horního panelu M1:2



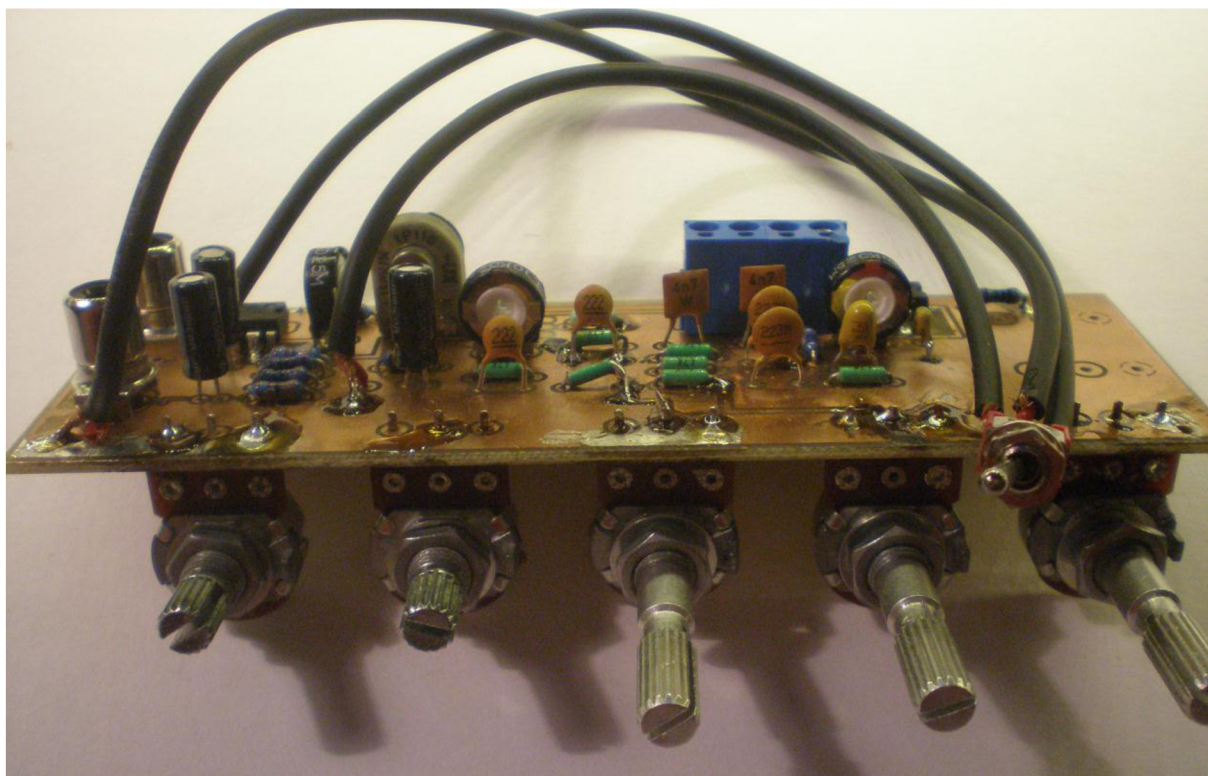
## C Fotodokumentace



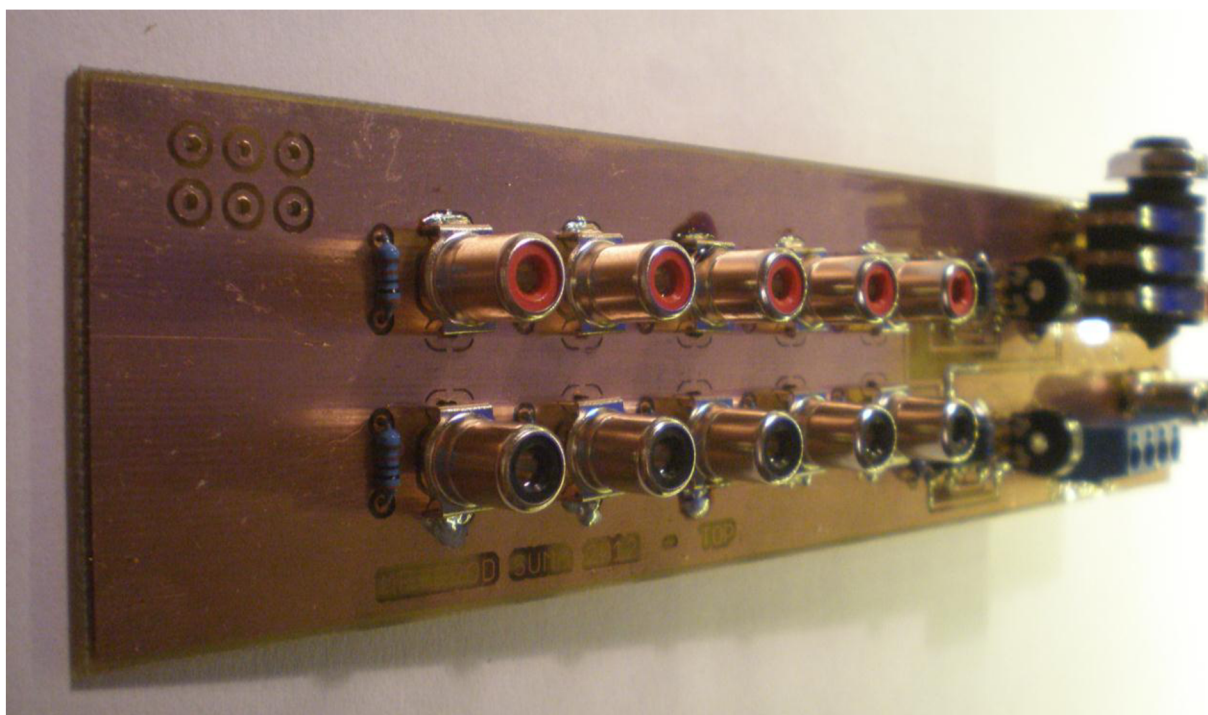
Obr. 50 Osazená deska plošných spojů mikrofonního předzesilovače



Obr. 51 Osazená deska plošných spojů sedmipásmového ekvalizéru

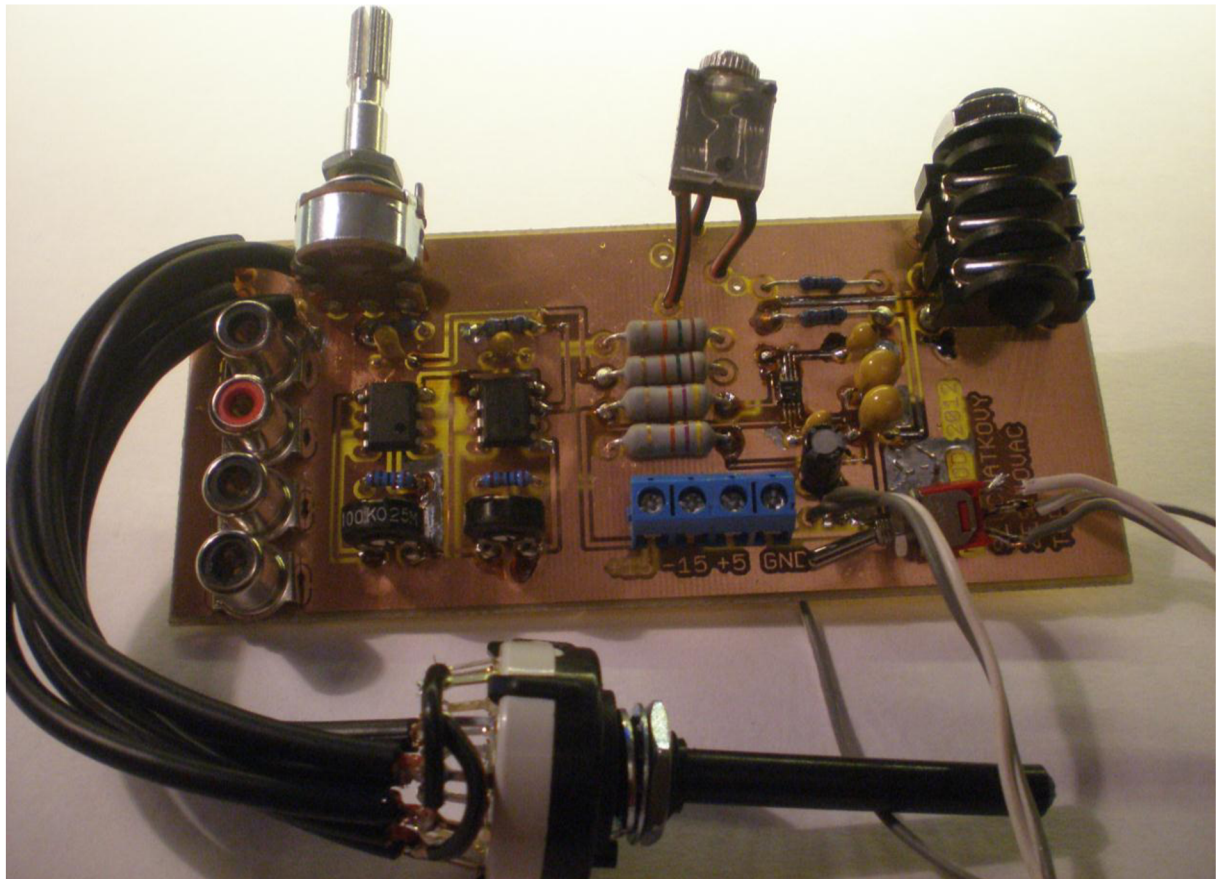


Obr. 52 Osazená deska plošných spojů třípásmového ekvalizéru



Obr. 53 Osazená deska plošných spojů slučovacího členu





Obr. 54 Osazená deska plošných spojů sluchátkového zesilovače



Obr. 55 Leptání desky horního panelu