

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Ondřej Ryšavý



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MIXÁŽNÍ PULT PRO AUDIO SIGNÁLY

MIXING CONSOLE FOR AUDIO SIGNALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Ryšavý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program Elektronika a komunikační technologie

Ústav radioelektroniky

Student: Ondřej Ryšavý

ID: 221346

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Mixážní pult pro audio signály

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete blokovou a obvodovou strukturu mixážního pultu pro audio signály, který by umožňoval kombinaci několika nezávislých audio kanálů. Každý kanál by měl umožňovat detekci úrovně signálu, nastavení vstupní úrovně a vícepásmovou frekvenční korekci. Výstupní obvody by měly obsahovat standardní sluchátkový a linkový výstup. Současně navrhnete napájecí zdroj vhodný pro integraci do celkové konstrukce.

V praktické části práce vytvořte kompletní konstrukční podklady k realizaci návrhu (schéma zapojení, návrh desky plošného spoje, rozložení a soupiska součástek, atd.). Navržený mixážní pult realizujte formou funkčního prototypu a experimentálním měřením v laboratoři audio elektroniky ověřte jeho činnost. Výsledky měření zpracujte formou standardního protokolu o měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

[2] VLACHÝ, V. Praxe zvukové techniky. Praha: Muzikus, 2000.

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

Termín zadání: 11.2.2022

Termín odevzdání: 1.6.2022

Vedoucí práce: prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

Abstrakt

Bakalářská práce na téma „Mixážní pult pro audio signály“ se zabývá návrhem a výrobou mixážního pultu pro směšování několika nezávislých audio signálů. V prvním kroku je navrženo blokové schéma a poté i obvodové schéma. Celková konfigurace mixážního pultu je řešena následovně: Čtyři monofonní vstupy, řešené jako kombinovaný XLR/Jack 6,3 mm vstup, kam je možné připojit mikrofon nebo jiný monofonní zdroj signálu (nikoli oba současně), dva stereofonní vstupy RCA (CINCH). Každý kanál umožňuje pětipásmovou frekvenční korekci, panoramu, regulaci úrovně signálu a detekci úrovně signálu. Výstup je realizován pomocí linkových konektorů (pro připojení do zesilovače), sluchátkového výstupu a sluchátkového zesilovače. Po návrhu je mixážní pult vyroben, oživen a následně měřen v laboratoři audio techniky.

Klíčová slova

Mixážní pult, fantomové napájení, regulátor úrovně, panorama, ekvalizér

Abstract

Bachelor's thesis on the topic „Mixing console for audio signals“ deals with the design and production of a mixing console for mixing several independent audio channels. In the first step is designed a block diagram and then a circuit diagram. The overall configuration of the mixing console is: Four mono inputs, designed as a combined XLR/JACK 6,3 mm input, where you can connect a microphone or other mono signal (not both at the same time), two stereo inputs RCA(CINCH). Each channel allows five-band frequency correction, panorama, signal level control and signal level detection. The output is realized per line connectors (for connection to the amplifier), headphone output and headphone amplifier. After design, the mixing console is produced, revived and then measured in an audio laboratory.

Keywords

Mixing console, phantom power, fader, panorama, equalizer

Bibliografická citace

RYŠAVÝ, Ondřej. *Mixážní pult pro audio signály*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce: prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	<i>Ondřej Ryšavý</i>
VUT ID studenta:	<i>221346</i>
Typ práce:	<i>Bakalářská práce</i>
Akademický rok:	<i>2021/22</i>
Téma závěrečné práce:	<i>Mixážní pult pro audio signály</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 1. června 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Prof. Ing. Tomáši Kratochvílovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 1. června 2022

podpis autora

Obsah

ÚVOD	9
1 TEORETICKÝ ÚVOD	10
1.1 DEFINICE MIXÁŽNÍHO PULTU	10
1.2 STRUKTURA MIXÁŽNÍHO PULTU	10
1.2.1 Vstupní obvod.....	11
1.2.2 Výstupní obvod.....	11
1.2.3 Indikátor vybuzení.....	11
1.2.4 Napájení.....	11
1.3 VYUŽITÍ MIXÁŽNÍHO PULTU	12
1.4 ROZDĚLENÍ MIXÁŽNÍCH PULTŮ.....	12
2 VLASTNÍ ŘEŠENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU	13
2.1 TECHNICKÝ NÁVRH.....	13
2.2 BLOKOVÉ SCHÉMA MIXÁŽNÍHO PULTU	14
2.3 POPIS FUNKCE JEDNOTLIVÝCH FUNKČNÍCH BLOKŮ	15
2.3.1 Vstupní obvod – XLR/JACK.....	15
2.3.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)	16
2.3.3 Pětípásmový ekvalizér.....	16
2.3.4 Panorama + Fader	17
2.3.5 LED indikátor vybuzení	17
2.3.6 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač.....	18
2.3.7 Napájecí zdroj.....	19
2.4 SIMULACE NĚKTERÝCH OBVODŮ.....	19
2.4.1 Vstupní obvod – XLR/JACK.....	20
2.4.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)	22
2.4.3 Pětípásmový ekvalizér.....	23
2.4.4 Výstupní obvod - sluchátkový zesilovač	28
3 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	30
3.1 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ	30
3.1.1 Vstupní obvod - XLR/JACK.....	30
3.1.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)	31
3.1.3 Pětípásmový ekvalizér, fader + panorama	31
3.1.4 LED indikátor vybuzení	31
3.1.5 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač.....	31
3.1.6 Napájecí zdroj.....	32
3.1.7 Transformátor	32
4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	33
4.1 VÝSLEDKY MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH OBVODŮ	33
4.1.1 Vstupní obvod – XLR/JACK.....	33
4.1.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)	35
4.1.3 Pětípásmový ekvalizér.....	38
4.1.4 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač.....	39

5 ZÁVĚR.....	42
LITERATURA.....	43
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	45

ÚVOD

Tématem závěrečné práce byl vybrán návrh a konstrukce mixážního pultu pro audio signály, který umožňuje směšování několika nízkofrekvenčních (audio) signálů z různých zdrojů. Mixážní pult by měl podle požadavků obsahovat celkem šest vstupů, čtyři mikrofonní (XLR/Jack 6,3 mm) a dva linkové RCA (CINCH). Také by měl umožňovat regulaci úrovně signálu jednotlivých kanálů a regulaci celkové úrovně na výstupu mixážního pultu. Dále bude schopen vícepásmové frekvenční korekce signálu a indikace přebuzení jednotlivých kanálů realizovanou pomocí LED diod. Přístroj je navržen pro osobní použití, ale celkově má takový mixážní pult široké využití. V požadavcích pro zimní semestr bylo potřeba navrhnout blokové schéma (viz obr. 1) a poté i obvodové schéma zapojení. Nad rámec zadání byly některé bloky ověřeny simulací v programu OrCAD CAPTUPE. Pro letní semestr je kladen důraz na zhotovení výrobních podkladů, vyrobení funkčního prototypu a následně ověřit funkčnost měření v laboratoři.

V první části práce budou uvedeny obecné informace o mixážních pultech, seznámení s různými typy a k čemu se jednotlivé typy používají.

V další části bude představeno vlastní řešení mixážního pultu, blokové schéma a následně budou podrobně popsány jednotlivé bloky. V této části se také objeví schémata jednotlivých bloků společně se simulacemi.

V závěru budou shrnuty poznatky z návrhu a případné problémy či nesrovnalosti vzniklé při řešení návrhu a konstrukci mixážního pultu.

1 TEORETICKÝ ÚVOD

1.1 Definice mixážního pultu

Mixážní pult, který je někdy odborně nazývaný jako lineární směšovací pult, je přístroj, jehož úkolem je směšování několika nezávislých nízkofrekvenčních signálů z různých zdrojů (např. mikrofon, elektrická kytara, linkový výstup počítače atd.) do jednoho, který je většinou následně připojen do zesilovače nebo do aktivních reproduktorů. [1] Samotný mixážní pult neslouží k přehrávání hudby, ale plní zde funkci směšovače.

Směšovací funkci, jež je hlavní funkcí mixážního pultu, můžeme též nazvat slučovací funkcí. Všechny signály, které jsou v danou chvíli připojeny, přivedeme do součtového členu, kde se signály sečtou a na hlavní výstup dále přivádíme pouze smíchaný signál. Součtový člen může být proveden pomocí tzv. signálové sběrnice, kam jsou přivedeny jednotlivé signály. Takových sběrnic mohou mixážní pulty obsahovat hned několik. U profesionálních mixážních pultů se setkáváme s řešením, kdy signál není pouze přiveden ze vstupu přes sběrnici na výstup, ale prochází i frekvenční korekcí nebo může být vyveden či paralelně odbočen na další přídavný výstup ještě před směšováním. Z toho vyplývá, že by mixážní pult neměl obsahovat pouze hlavní signálovou sběrnici, ale také další pomocné sběrnice, se kterými je rozšířena možnost využití pultu. Příkladem může být monitorová sběrnice, efektová sběrnice a další pomocné sběrnice.

Dále je nutno brát v úvahu fakt, že každý signál připojený na vstup mixážního pultu pracuje s jinou napěťovou úrovní, proto musíme každý signál před směšováním upravit na požadovanou úroveň (mikrofonní signál zesílit, linkový signál utlumit atd.).

1.2 Struktura mixážního pultu

Každý mixážní pult je obecně zhotoven z několika funkčních bloků:

- Vstupní obvod
- Výstupní obvod
- Indikátor vybuzení
- Napájení

1.2.1 Vstupní obvod

Úkolem vstupního obvodu je upravit (zesílit, zeslabit) přivedený signál před samotným směřováním na požadovanou úroveň, dále má za úkol odfiltrovat nežádoucí signály (frekvence pod 10 Hz, brum o frekvenci 50 Hz atd.).

Další funkcí vstupního obvodu může být frekvenční korekce signálu (ekvalizace). Díky této funkci může být signál upravován pro příjemnější poslech.

Drtivá většina mixážních pultů je vybavena fantomovým napájením, které souží jako napájení pro kondenzátorové mikrofony nebo jiná zařízení (D.I.Box). Ve většině případů se používá napětí +48 V DC, ale může být použito i jiné.

Některé mixážní pulty umožňují otočení fáze signálu pro řešení fázových problémů při použití více mikrofonů nebo v některých případech můžeme otočením fáze odstranit nežádoucí zpětnou vazbu.

1.2.2 Výstupní obvod

Tento obvod zpracovává signál ze sběrnice následně přivádí na výstup pultu. V drtivé většině případů umožňuje také nastavení celkové úrovně signálu, který je dále zpracováván.

Dále také přizpůsobuje napěťové a impedanční úrovně signálu pro další zařízení. Podle potřeby je možno upravovat frekvenční spektrum signálu (ekvalizace). Takový obvod obsahuje kromě ekvalizéru a výstupních konektorů ještě sluchátkový zesilovač pro možnost přímého odposlechu z pultu bez nutnosti připojení k zesilovači.

1.2.3 Indikátor vybuzení

U většiny mixážních pultů se setkáváme s indikátorem připojeným na výstupu pultu, který signalizuje vybuzení celkového smíchaného signálu. Také ale najdeme pulty, u kterých je indikátor zabudovaný pro každý kanál zvlášť. Indikátory bývají ve většině případů pouze orientační, záleží na nastavení úrovně signálu vybuzení (většinou odporovým trimrem na vstupu indikátoru). Tyto indikátory bývají realizovány pomocí LED diod nebo bargrafu, obsahujícího několik integrovaných LED v jednom obvodu.

1.2.4 Napájení

Napájecí obvody patří k nejdůležitějším obvodům celého mixážního pultu. Důležitá je volba napájecího napětí, aby byl dodáván potřebný výkon pro jednotlivé obvody a minimální zvlnění napájecího napětí při zatížení. Tím se zamezí výskyt brumu na vstupu operačních zesilovačů a tím i kvalita celkového signálu. Aby byly odstraněny všechny rušivé signály, je třeba provést další opatření. S problematikou napájení je možné se více seznámit v [1].

1.3 Využití mixážního pultu

Jak už bylo popsáno dříve, hlavní úkol mixážního pultu je směřovat signály z různých zdrojů. Nejčastější využití je možnost zvýšení počtu vstupů různých zařízení (PC, koncový zesilovač atd.). Počet vstupů a výstupů, analogové nebo digitální provedení, závisí na odvětví, kde jsou pulty požívány. S mixážními pulty se setkáváme v rádiových stanicích, na koncertech, diskotékách, v nahrávacích studiích atd. Každý takový pult je ale odlišně sestaven (různý počet vstupů). V nahrávacích studiích se setkáme s pulty, které obsahují mnoho vstupů pro různé druhy signálů. Na koncertech můžeme vidět pulty s takovým počtem vstupů, který vyhovuje nástrojovému a mikrofonnímu obsazení kapely.

1.4 Rozdělení mixážních pultů

Mixážní pulty se dělí do následujících kategorií:

Analogové mixážní pulty – pracují pouze s analogovými signály. Navzdory velkému rozšíření digitálního zpracování signálu mají tyto pulty stále velké uplatnění. Výroba takových pultů není příliš náročná a kvalita zpracovávaného zvuku plně vyhovuje požadavkům.

Analogové mixážní pulty s digitálním řízením – stejně jako v předchozím případě, tyto pulty pracují také pouze s analogovým signálem. Rozdíl je v možnosti řízení ovládacích prvků dálkově (PC). Předností takových pultů je možnost uložení nastavení regulačních prvků do paměti a následné vyvolání zapamatovaných pozic.

Digitální mixážní pulty – jsou v nich použity pouze digitální prvky (vstupy, výstupy atd.) a používají se společně s přístroji, které zpracovávají pouze digitální signál.

Digitální mixážní pulty s analogovými vstupy a výstupy – vstupy těchto zařízení jsou vybaveny A/D převodníky. Ty převádí analogový signál ze vstupu do digitální podoby pro vnitřní zpracování. Na výstupu se vyskytují D/A převodníky pro zpětný převod na analogový signál.

2 VLASTNÍ ŘEŠENÍ MIXÁŽNÍHO PULTU

V tomto případě je mixážní pult určen pro osobní použití, konkrétně pro hudební účely. Tomuto požadavku je přizpůsobena konfigurace přístroje (viz blokové schéma). Zařízení by mělo být snadné na konstrukci a oživení. Výroba by neměla být finančně náročná.

2.1 Technický návrh

Konfigurace zařízení, která vyhovuje požadavkům, je následující:

Mixážní pult obsahuje čtyři mikrofonní/linkové a dva pouze linkové vstupy. Mikrofonní/linkové vstupy jsou opatřeny konektory XLR/JACK 6,3 mm. Jedná se o konektor, kdy není možné připojení do obou konektorů zároveň. Při připojení do konektoru JACK je potřeba použít přepínač PAD 20dB, který utlumí signál linkové úrovně. Tento vstupní obvod obsahuje mikrofonní předzesilovač s integrovaným obvodem TL071. Jedná se o klasický operační zesilovač, kdy jsou možné i jiné varianty integrovaného obvodu (NE5532, LM741 atd.). Další možností je řízení zisku vstupního mikrofonního signálu pomocí potenciometru. Vstupní obvod pro pouze linkové vstupy je vybaven konektory RCA (CINCH). V tomto případě pracujeme se stereofonním signálem, takže obvody, které pracují s tímto signálem, musíme zhotovit dvakrát. Vstupní linkový obvod obsahuje integrovaný obvod NE5532. Ani v tomto případě nechybí možnost řízení zisku vstupního signálu potenciometrem.

Za vstupními obvody se nachází méně obvyklý pětipásmový ekvalizér. Ten v našem případě při normálním nastavení (všechny potenciometry vytočené do poloviny) nijak výrazně neovlivňuje zesílení signálu. Ekvalizér pracuje s operačním zesilovačem NE5532.

Na výstupu ekvalizéru můžeme vidět fader (regulátor úrovně), realizovaný pomocí potenciometru. Dále vidíme efekt panorama, který pomocí potenciometru a sumačních rezistorů rozděluje signál do pravého a levého kanálu podle námi požadovaného nastavení.

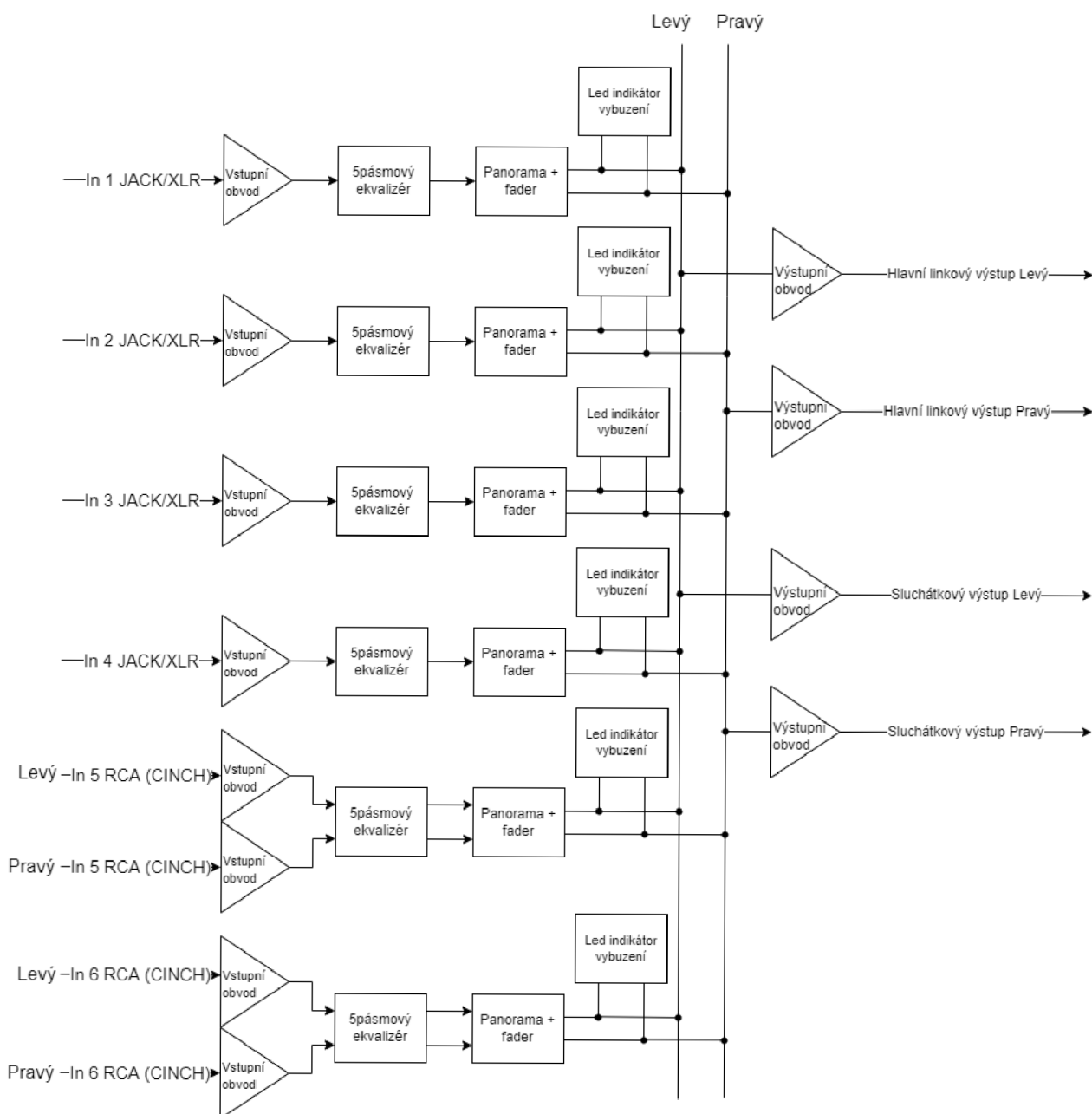
Paralelně k výstupu faderu je připojen LED indikátor vybuzení v provedení bargrafu. Tento indikátor slouží pro vizuální kontrolu vybuzení signálu jednotlivých kanálů a je opatřen integrovanými obvody LM386 a LM3915.

Za efektem panorama najdeme nejdůležitější část celého obvodu, konkrétně hlavní signálovou sběrnici. Na tu jsou posílány signály ze všech kanálů, kde se sečtou a následně putují do výstupního obvodu.

Výstupní obvod je opatřen hlavními výstupními konektory JACK 6,3 mm pro klasický linkový výstup a sluchátkovým zesilovačem (zesilovačem malého výkonu) pro možnost připojení sluchátek, taktéž s konektorem JACK 6,3 mm. Výstupní obvod umožňuje celkové nastavení úrovně výstupního signálu.

Nezbytnou součástí pro funkčnost celého zapojení je napájecí zdroj. Celé zapojení pracuje se symetrickým napájením ± 12 V. Funkce bude popsána níže.

2.2 Blokové schéma mixážního pultu

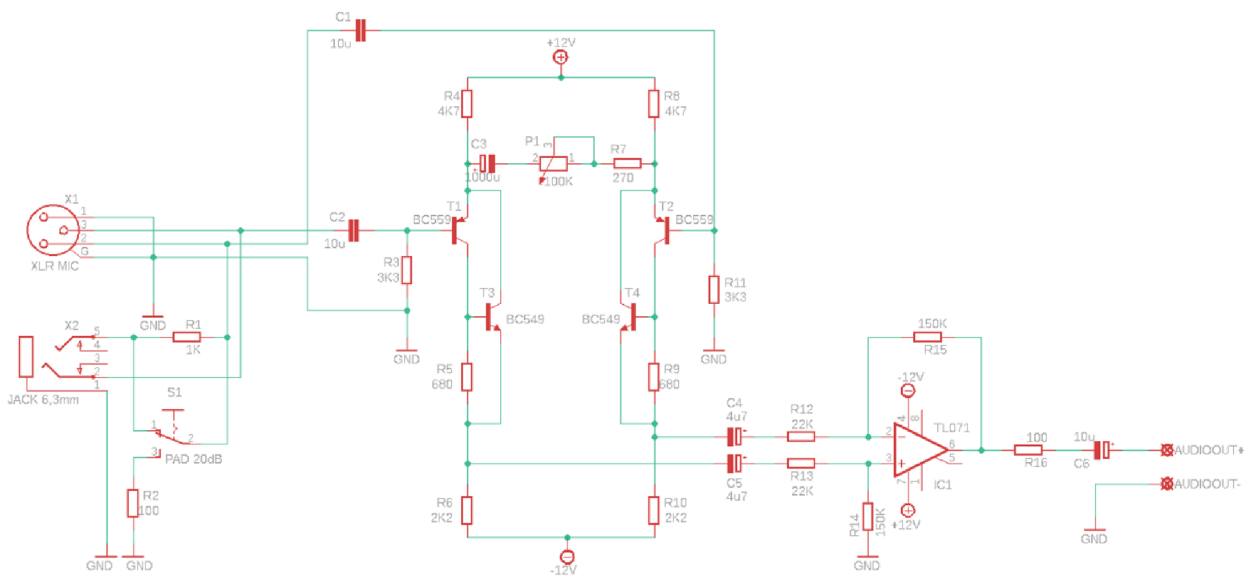


Obr. 1 - Blokové schéma mixážního pultu pro audio signály

2.3 Popis funkce jednotlivých funkčních bloků

2.3.1 Vstupní obvod – XLR/JACK

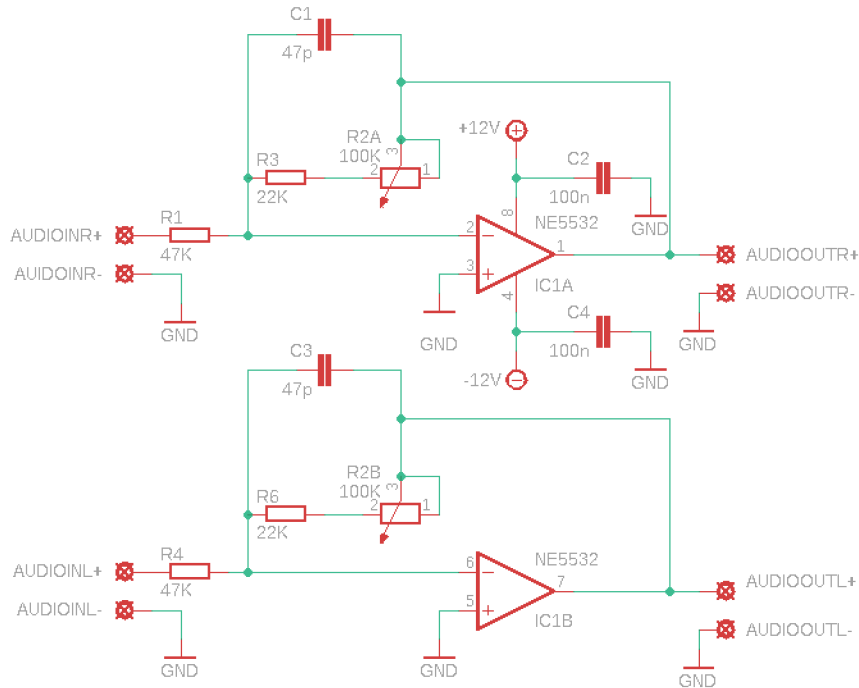
Schéma vstupní jednotky (viz obr. 2) je převzato z [3], přepínač PAD 20 dB z [2]. Mikrofonní nebo linkový vstupní signál je do obvodu přiveden kombinovaným konektorem XLR/JACK 6,3 mm. Přepínač PAD 20 dB pracuje jako dělič, tvořený rezistory R1 a R2. Tento dělič tlumí přivedený signál v poměru 1:10 (-20 dB). Na vstupu obvodu jsou také kondenzátory C1 a C2 s kapacitou 10 μ F. Tyto kondenzátory plní oddělovací funkci (potlačují stejnosměrnou složku). Potenciometrem P1 (GAIN) nastavujeme zisk vstupního signálu, tedy zesílení celého obvodu. Tranzistory T1 až T4 tvoří tzv. rozdílový zesilovač, kdy výstupní impedance tohoto zesilovače je vysoká. Z tohoto důvodu je použit integrovaný obvod TL071, který také plní funkci rozdílového zesilovače. V tomto případě rezistor R16 určuje výslednou impedanci. Na konci obvodu je připojen kondenzátor C6 s kapacitou 10 μ F, který také plní oddělovací funkci. Napájení obvodu, jak je naznačeno ve schématu, bude symetrické napětí ± 12 V.



Obr. 2 – Schéma zapojení mikrofonního předzesilovače

2.3.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)

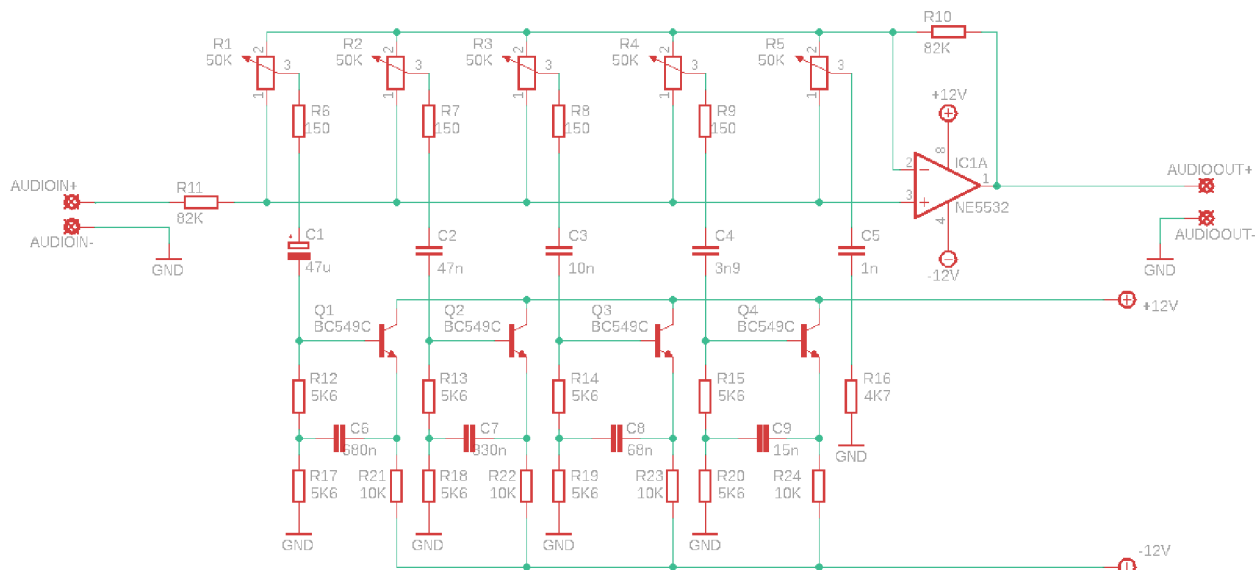
Schéma obvodu pro signál linkové úrovně (viz obr. 3), převzato z [6], je jednoduché zapojení invertujícího operačního zesilovače, který otáčí fázi signálu. Zisk (GAIN) tohoto obvodu je dán zpětnovazebními rezistory R2A, R3 a vstupním rezistorem R1. Vstupní impedance je přibližně rovna odporu R1.



Obr. 3 – Schéma zapojení linkového vstupního obvodu

2.3.3 Pětipásmový ekvalizér

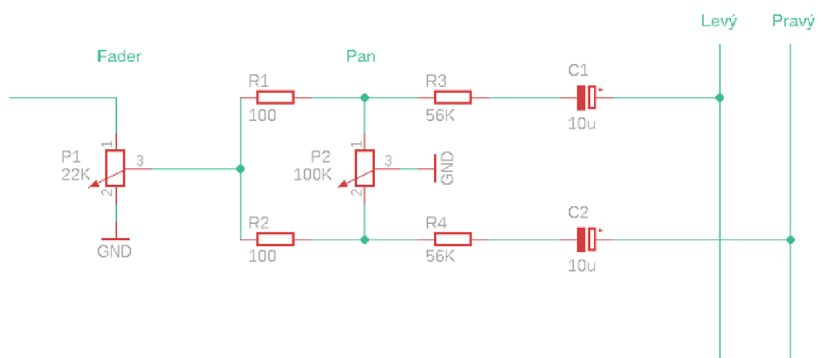
Na obrázku 4 je možno vidět zapojení pouze pro jeden kanál. Pro linkový vstup budeme muset použít dva obvody, kdy využijeme stereo potenciometry. Schéma pětipásmového ekvalizéru převzato z [9]. Zapojení využívá napěťové sledovače s tranzistory v obvodu, kde se vyskytují syntetické indukčnosti. K realizaci takových indukčností jsou využity tzv. gyrátory, tj. obvod, přeměňující jednu impedanci na druhou (kapacitu na indukčnost apod.). Tranzistorový gyrátor má značně menší šum než klasický operační zesilovač. Integrovaný obvod, použitý v tomto případě, je již známý NE5532. Samozřejmě by bylo možné použít i jiné (TL072, LM4558 atd.) [9].



Obr. 4 – Schéma zapojení pětipásmového ekvalizéru

2.3.4 Panorama + Fader

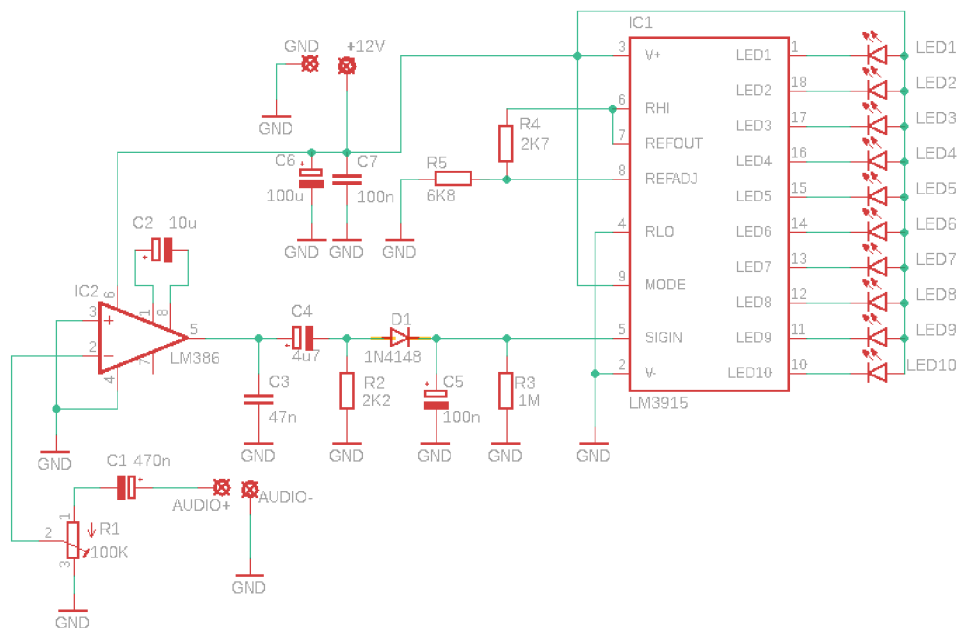
Obvodové schéma (viz obr. 5) převzato z [7] a doplněno o oddělovací kondenzátory. Potenciometr P1 (FADER) se stará o nastavení celkové úrovně signálu daného kanálu. Signál dále putuje přes rezistory R1 a R2, které mají v obvodu ochrannou funkci. Potenciometr P2 (PAN) nastavuje vyvážení signálu pro levý a pravý kanál. Ten je poté veden přes sumační rezistory R3 a R4 do hlavní sběrnice.



Obr. 5 – Schéma zapojení Faderu a Panoramy

2.3.5 LED indikátor vybuzení

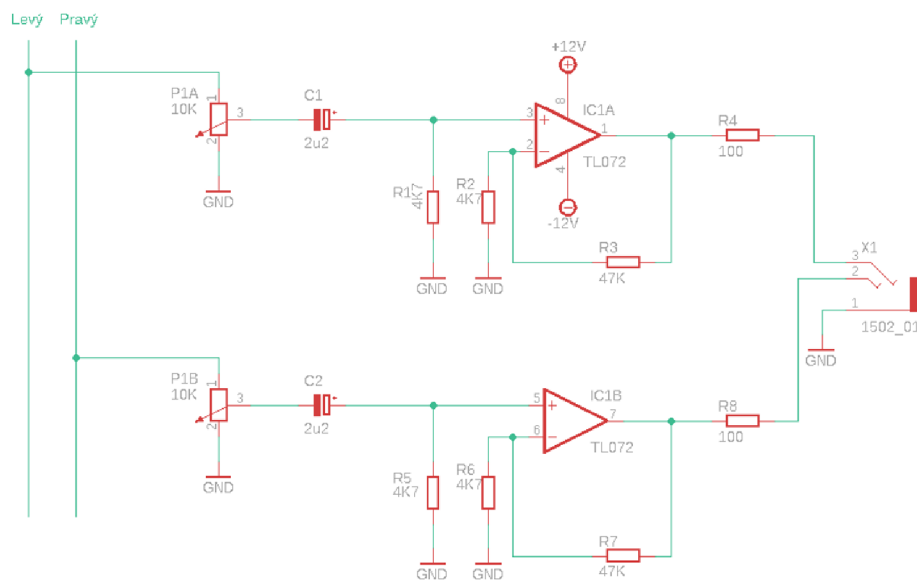
Indikátor vybuzení (obr. 6), jehož obvodové schéma bylo převzato z [8], se vyznačuje použitím operačního zesilovače LM385 a obvodu LM3915, obsahujícího deset komparátorů a je přímo určen pro indikaci vybuzení. Trimrem je nastavováno napětí, potřebné k vyuzení jednotlivých LED diod. Minimální vstupní napětí, se kterým je indikátor schopen pracovat, je 20 mV rms. Vstupní napětí je usměrněno diodou D1.



Obr. 6 – Schéma zapojení LED indikátoru vybuzení

2.3.6 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač

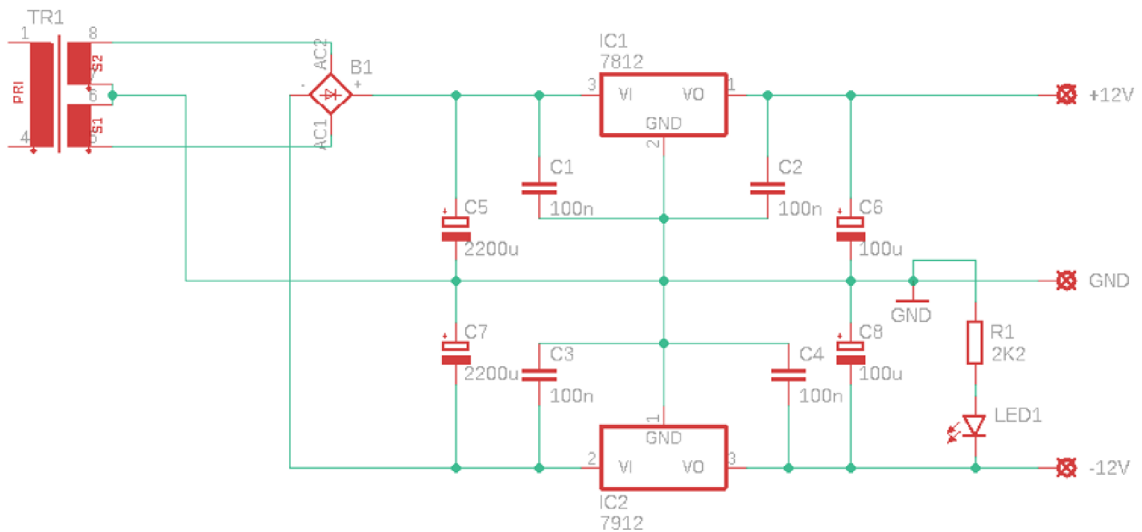
Schéma obvodu na obrázku 7 bylo převzato z [7] a slouží jako sluchátkový zesilovač. Signál je odebírán přímo z hlavní sběrnice a putuje přes stereo potenciometr P1. Ten nastavuje celkovou úroveň signálu na výstupu. Kondenzátory C1 a C2 zde plní oddělovací funkci. Hlavní linkový výstup bude proveden pouze pomocí potenciometru, oddělovacího kondenzátoru a výstupních konektorů.



Obr. 7 – Schéma zapojení výstupního sluchátkového zesilovače

2.3.7 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj (viz obr. 8) je, jak již bylo popsáno, nejdůležitějším obvodem pro správnou funkčnost mixážního pultu. Schéma je převzato z [7]. Při volbě zapojení je kladen důraz na jednoduchost konstrukce a minimální zvlnění výstupního napětí. Obvod na samotném vstupu zahrnuje transformátor, který obsahuje dvě sekundární vinutí pro zajištění symetrického napájení. Napětí je dále usměrněno pomocí Graetzova usměrňovače a následně vyhlazeno kondenzátory C5 a C7. Jelikož při usměrnění dojde ke zvýšení napětí, je nutné použít stabilizátory 7812 a 7912 v THT provedení, které budou připojeny na chladič. Odběr proudu předpokládáme kolem 1 A.



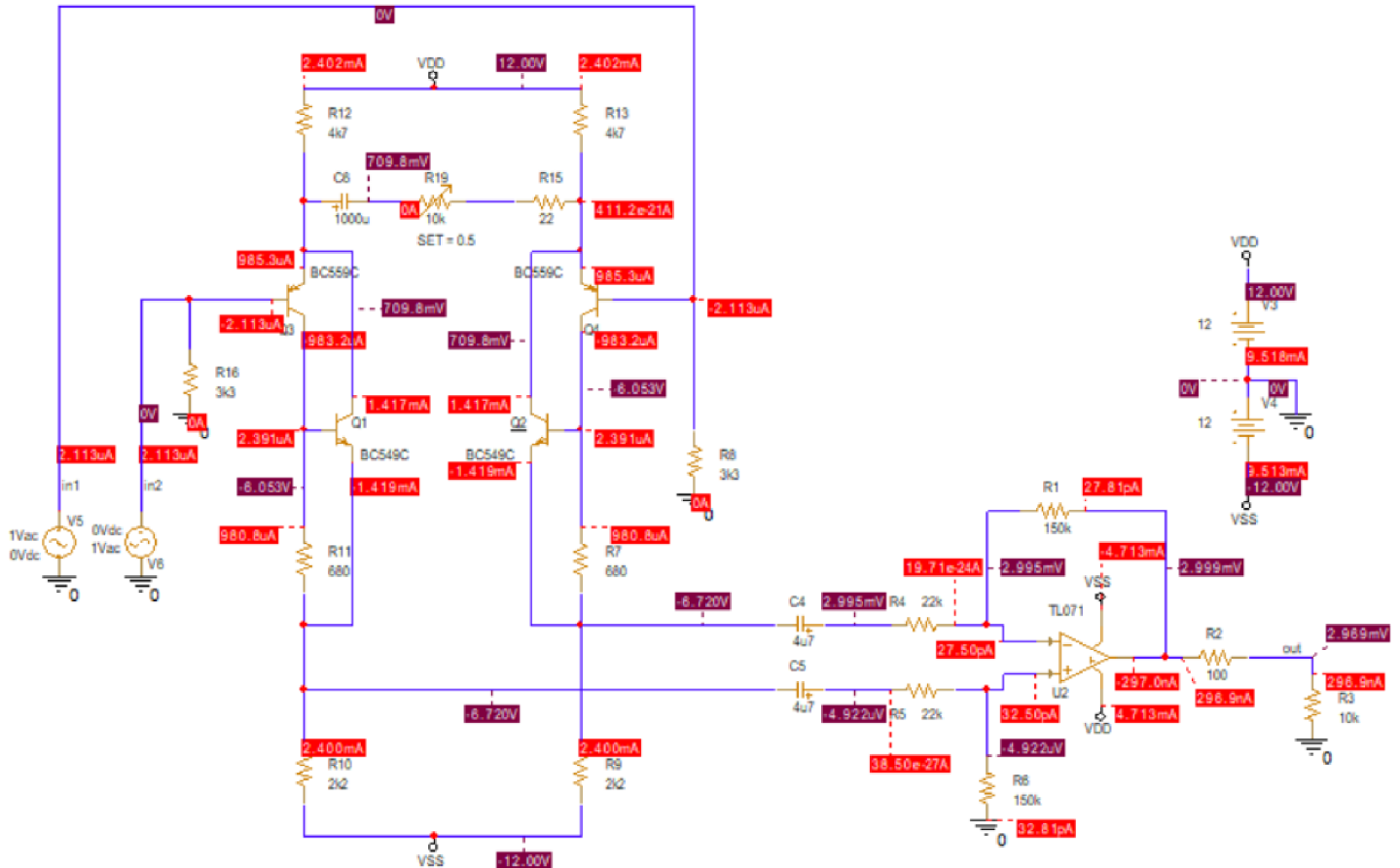
Obr. 8 – Schéma zapojení napájecího zdroje

2.4 Simulace některých obvodů

Sladění jednotlivých obvodů bývá v mnoha případech velice náročné. Proto je vhodné zjistit chování těchto obvodů pomocí simulací. Pro naše potřeby byl použit program OrCAD CAPTURE. Ve všech případech jsme použili analýzu Bias Point, která zobrazí hodnoty napětí a proudu v jednotlivých větvích a uzlech. Dále byla využita analýza AC sweep, kdy je zobrazena modulová kmitočtová charakteristika obvodu v decibelech v rozsahu od 10 Hz do 30 kHz.

2.4.1 Vstupní obvod – XLR/JACK

V prvním kroku bylo nutné překreslit schéma zapojení (viz obr. 9). Vstupy byly opatřeny zdroji harmonického signálu a jako zátěž byl použit rezistor 10 kΩ, který reprezentuje vstupní odpor dalšího navázaného bloku. Ten bude použit ve všech dalších schématech.

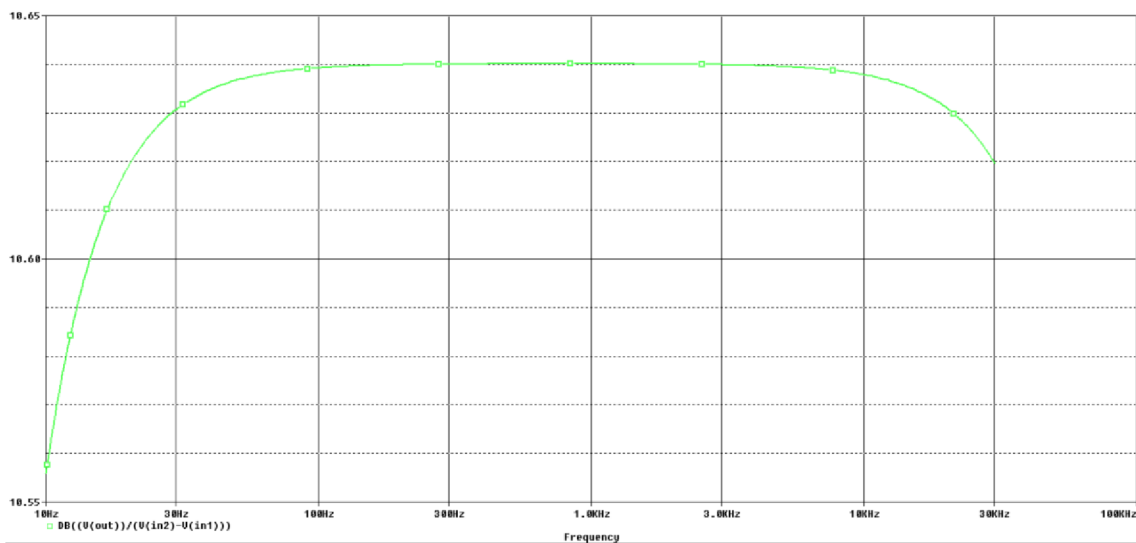


Obr. 9 – Schéma mikrofonního předzesilovače s Bias Point analýzou

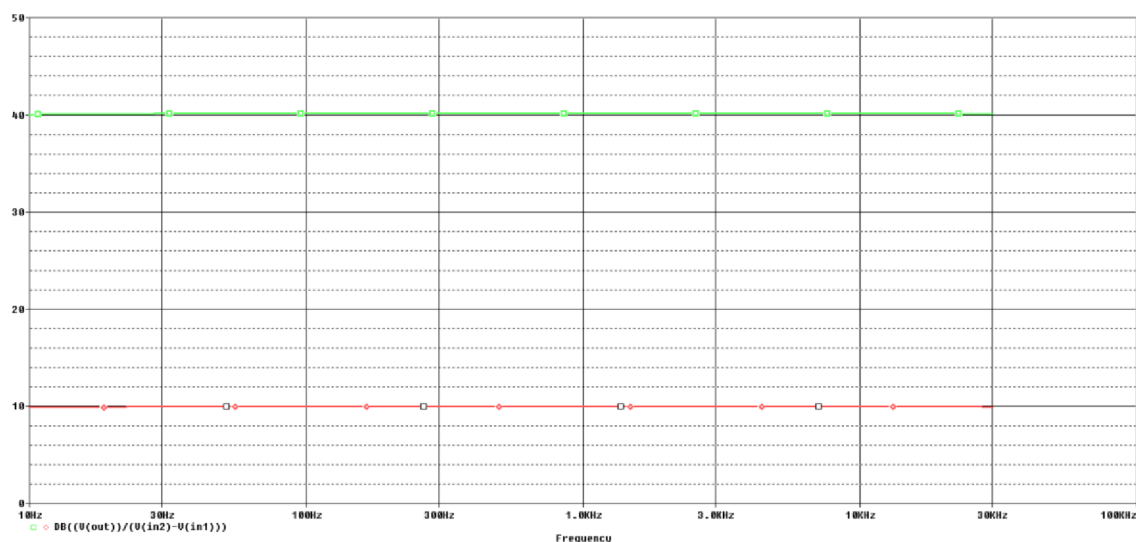
Na obrázku 9 můžeme vidět hodnoty napětí a proudu v jednotlivých uzlech. Hodnoty odporu R19 a R15 byly pro naše účely pozměněny oproti [3], tato změna bude popsána níže.

$$A_u = 20 \log \left(\frac{U_{OUT}}{U_{IN2} - U_{IN1}} \right) \text{ [dB, V, V]} \quad (1)$$

U_{OUT} je výstupní napětí a napětí U_{IN1} a U_{IN2} jsou vůči sobě v protifázi. Z toho důvodu je výsledné zesílení vypočteno ze vztahu (1).



Obr. 10 – Plochá modulová frekvenční charakteristika mikrofonního předzesilovače – trimr ve střední poloze

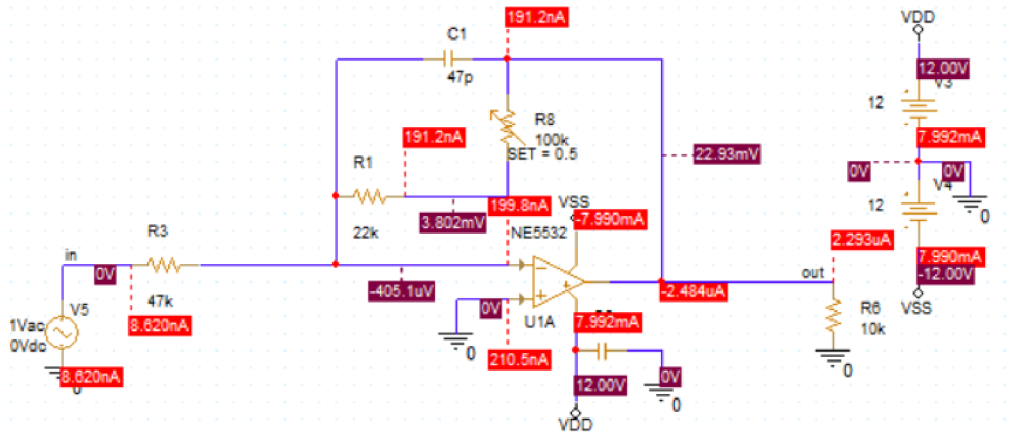


Obr. 11 – Modulová frekvenční charakteristika mikrofonního předzesilovače Při minimálním a maximálním vytočení trimru

Na obrázku 10 můžeme vidět plochou modulovou frekvenční charakteristiku, kdy je trimr R19 nastaven ve střední poloze. Při použití původních hodnot součástek R19 a R15 jsme dosáhli zesílení 60 dB. Protože obvodem je zesilován i signál linkové úrovně, z důvodu ochrany byly pozměněny hodnoty součástek tak, aby byla dosažena maximální hodnota zesílení 40 dB (viz obr.11). Z obrázku lze vyčíst i minimální hodnota zesílení, konkrétně 10 dB. Pro nastavení zisku (GAIN) bude potřeba použít logaritmický potenciometr.

2.4.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)

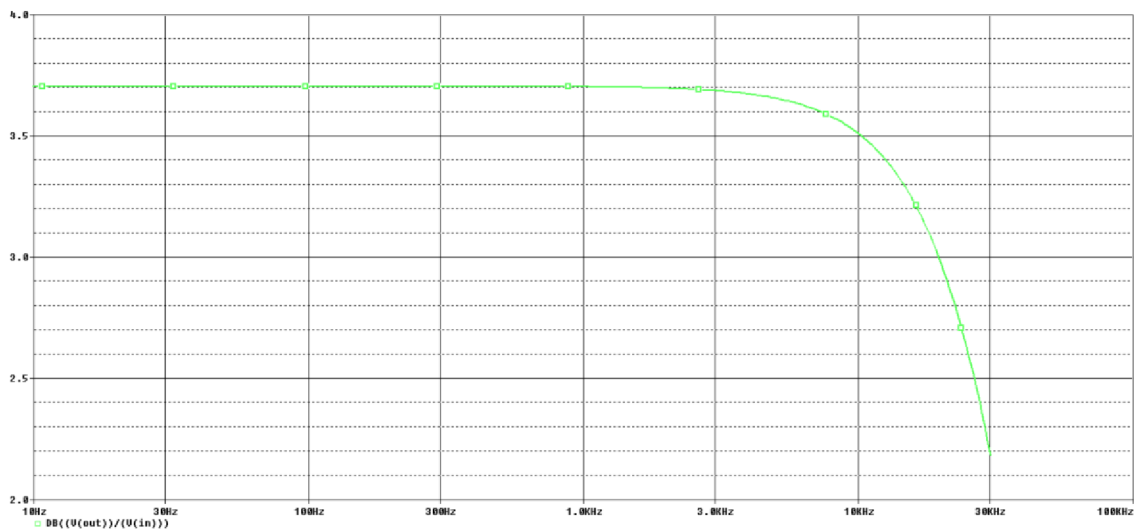
Simulace linkového vstupního obvodu obsahuje plochou modulovou frekvenční charakteristiku a modulovou frekvenční charakteristiku s rozmítáním. Při simulaci je rozmítán parametr SET u trimru R8. Při konstrukci bude použit potenciometr. Schéma v programu OrCAD CAPTURE je zobrazeno na obrázku 12.



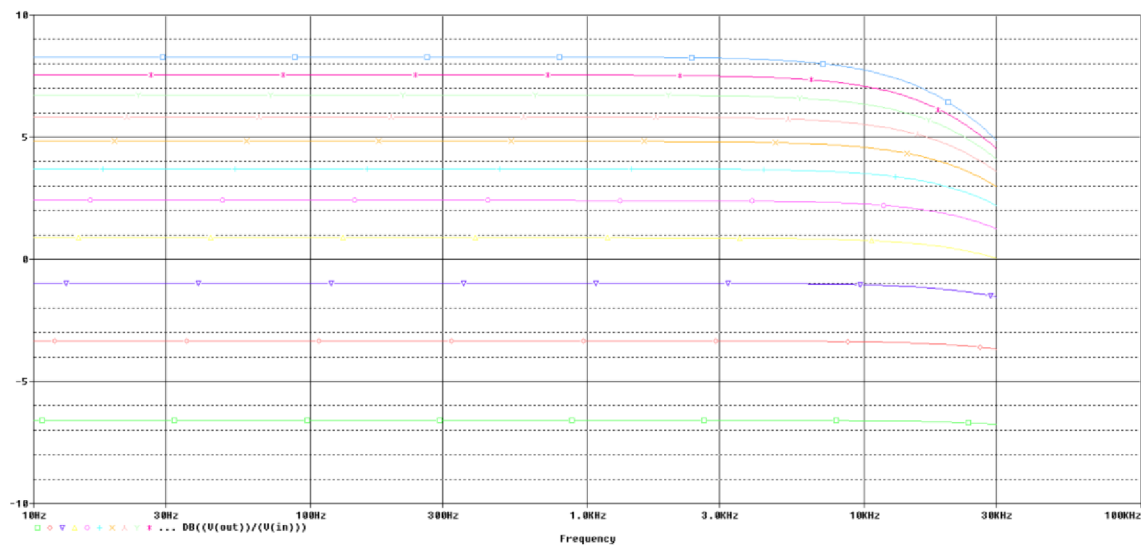
Obr. 12 – Schéma vstupního linkového obvodu s Bias Point analýzou

V tomto případě počítáme výsledné zesílení vztahem: (2)

$$A_u = 20 \log \left(\frac{U_{OUT}}{U_{IN}} \right) \text{ [dB, V, V]} \quad (2)$$



Obr. 13 – Plochá modulová frekvenční charakteristika vstupního linkového obvodu bez rozmítání

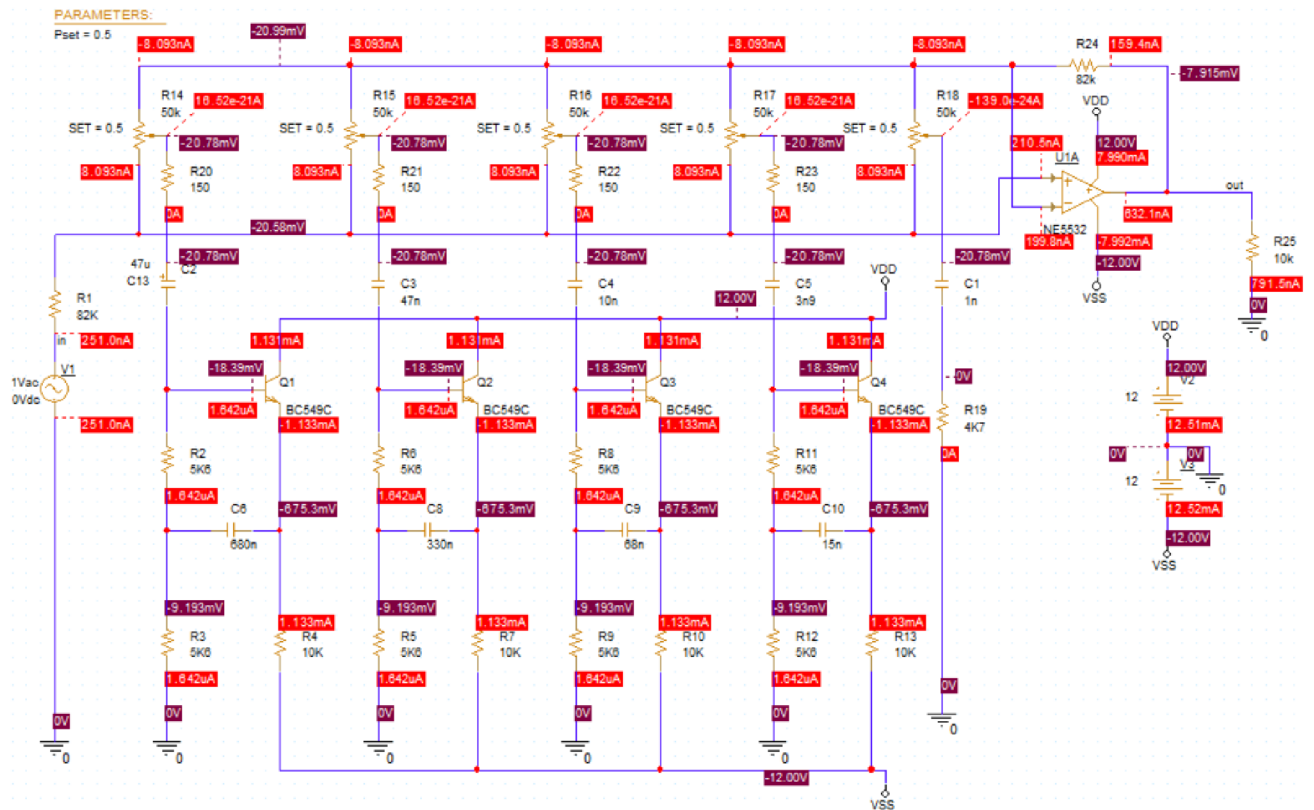


Obr. 14 – Modulová frekvenční charakteristika vstupního linkového obvodu s rozmítáním

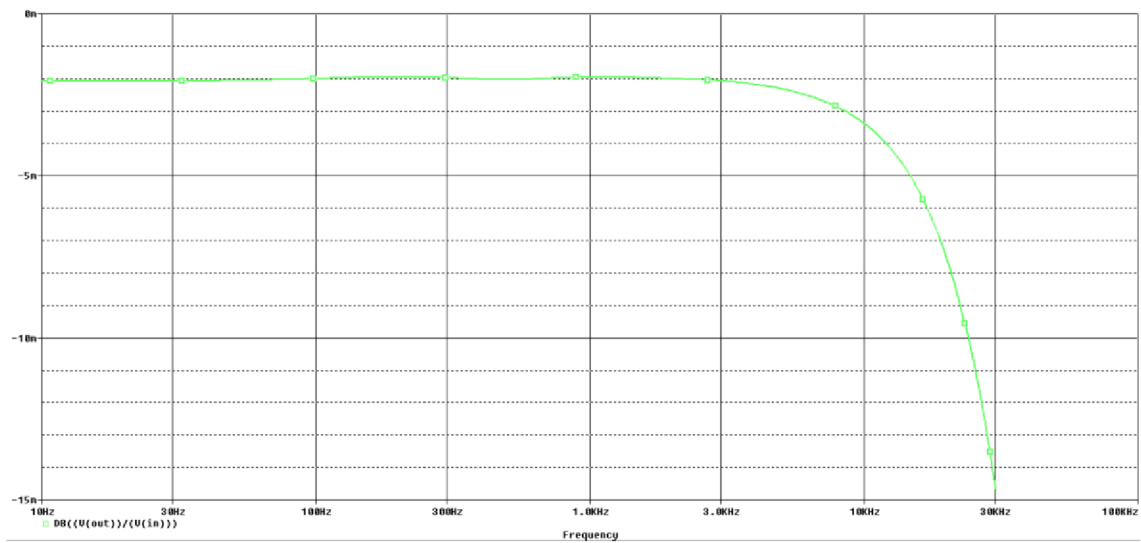
Modulová frekvenční charakteristika, kdy je trimr R8 ve střední poloze, je vidět na obrázku 13. Z obrázku 14 můžeme vyčíst, že signál linkové úrovně přiváděný do obvodu můžeme nejen zesílit, ale také utlumit. Jelikož se linková napěťová úroveň pohybuje okolo 0,775 V, je zesílení dostatečné.

2.4.3 Pětipásmový ekvalizér

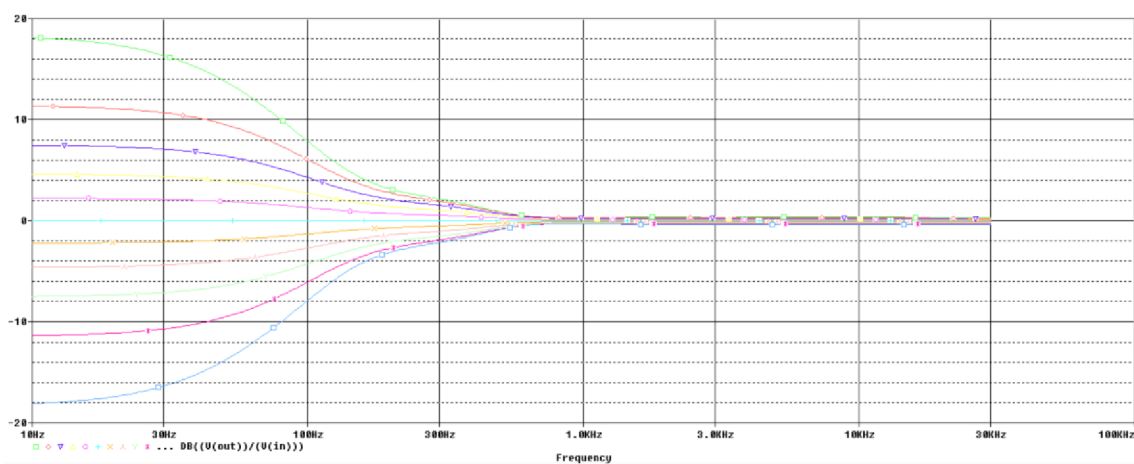
V prvním kroku bylo nutné překreslit schéma (viz obr. 15). Hlavním úkolem pětipásmového ekvalizéru je frekvenční korekce signálu. V našem případě bude rozmítán parametr SET jednotlivých potenciometrů a poté i všech současně. Při nastavení všech potenciometrů do střední polohy očekáváme nulové zesílení a při rozmítání očekáváme zesílení alespoň 10 dB.



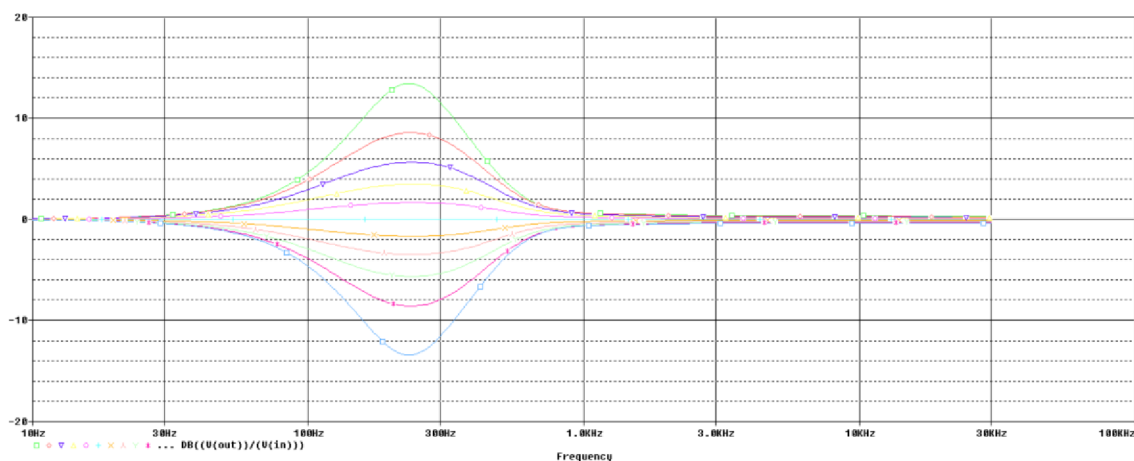
Obr. 15 – Schéma zapojení pětipásmového ekvalizéru s Bias Point analýzou



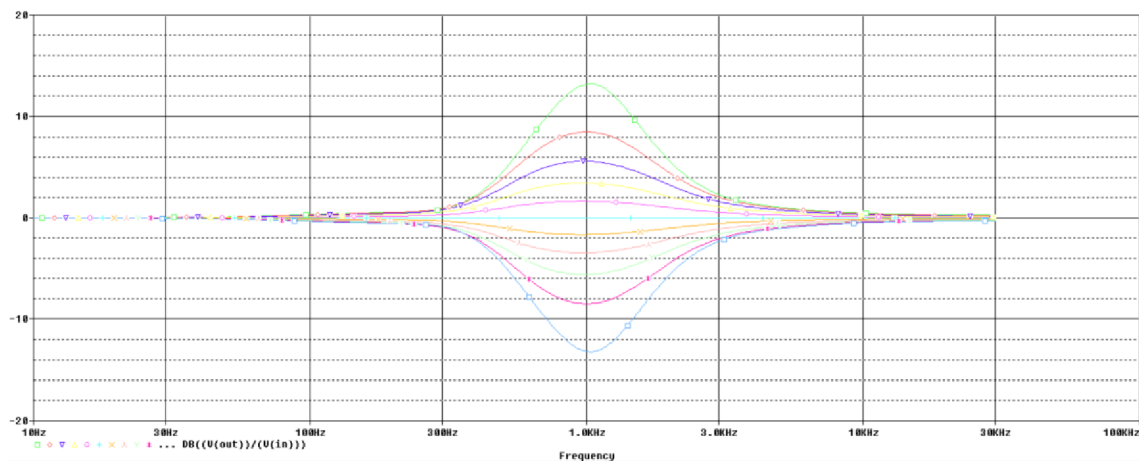
Obr. 16 – Plochá modulová frekvenční charakteristika pětipásmového ekvalizéru



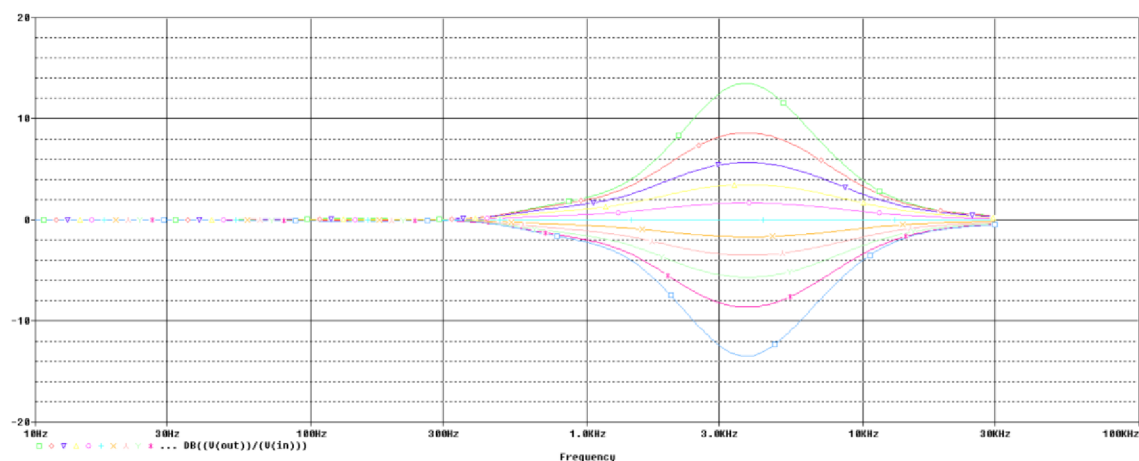
Obr. 17 – Modulová frekvenční charakteristika pětipásmového ekvalizéru s rozmitáním pásma 50 Hz



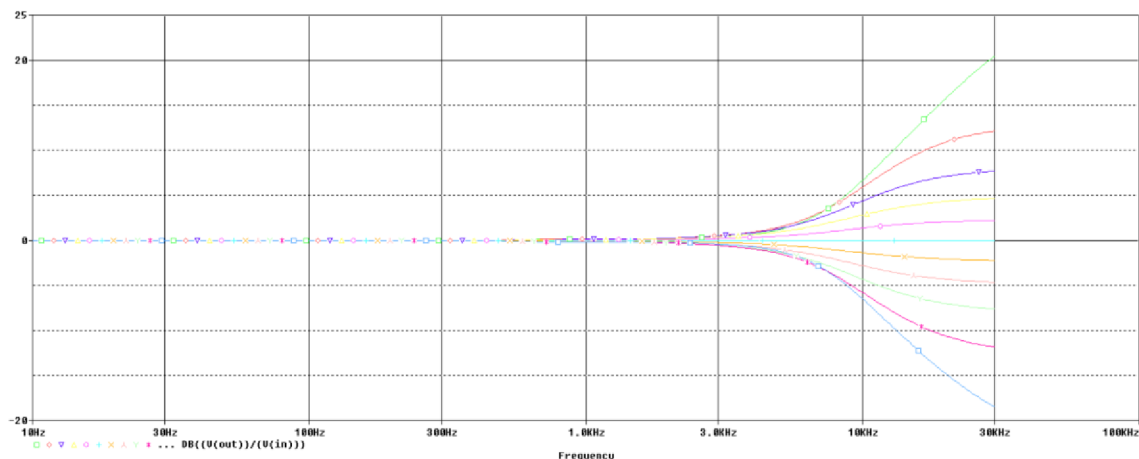
Obr. 18 – Modulová frekvenční charakteristika pětipásmového ekvalizéru s rozmitáním pásma 250 Hz



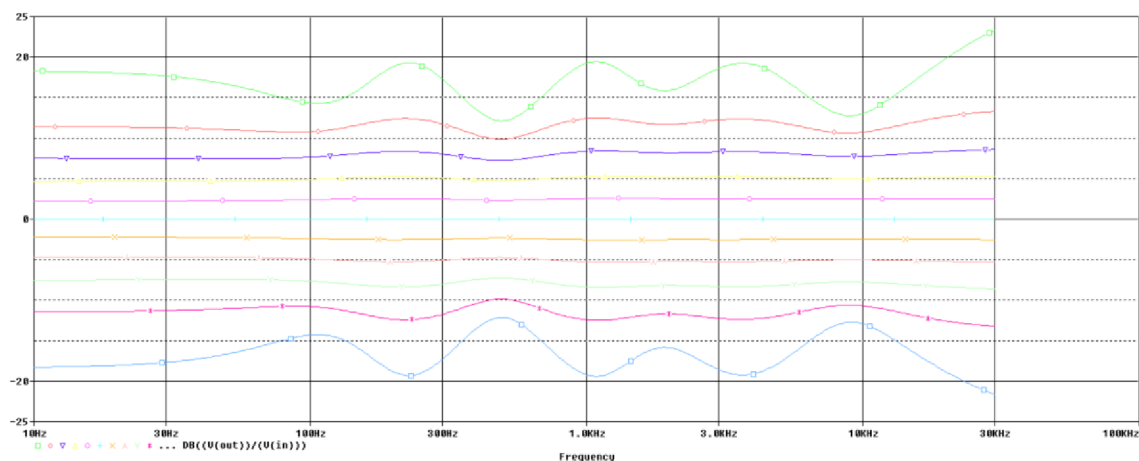
Obr. 19 – Modulová frekvenční charakteristika pětipásmového ekvalizéru s rozmitáním pásma 1 kHz



Obr. 20 – Modulová frekvenční charakteristika pětipásmového ekvalizéru s rozmitáním pásma 4 kHz



Obr. 21 – Modulová frekvenční charakteristika pětípásmového ekvalizéru s rozmítáním pásma 15 kHz

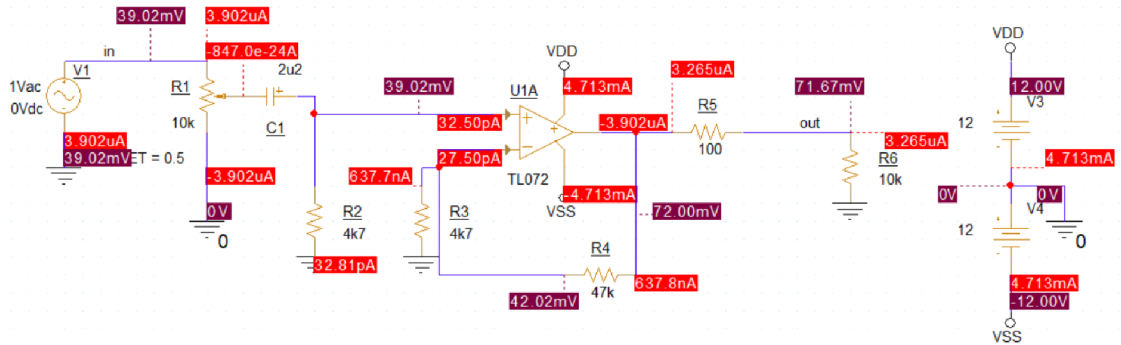


Obr. 22 – Modulová frekvenční charakteristika pětípásmového ekvalizéru – rozmítání všech pásem současně

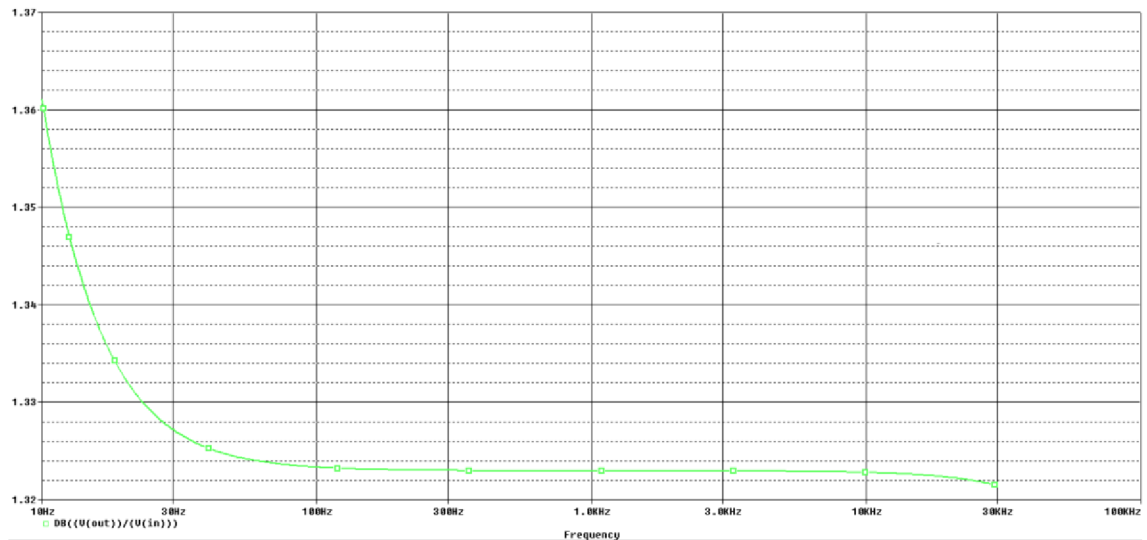
Na obrázku 16 je vidět plochá modulová frekvenční charakteristika bez rozmítání, kdy jsou všechny potenciometry ve střední poloze. Na dalších obrázcích (obr. 17, obr. 18, obr. 19, obr. 20, obr. 21) je vidět rozmítání jednotlivých pásem. Na obrázku 22 bylo provedeno rozmítání všech pásem současně. Z obrázků lze vyčíst, že v případě, kdy neprovádíme žádnou korekci signálu (potenciometry ve střední poloze), je zesílení téměř nulové. U každého rozmítaného pásma pozorujeme zesílení nebo útlum alespoň 10 dB. Největší zesílení (útlum) vidíme v případě rozmítání pásma 50 Hz a 15 kHz. V těchto případech se hodnota blíží až k 20 dB.

2.4.4 Výstupní obvod - sluchátkový zesilovač

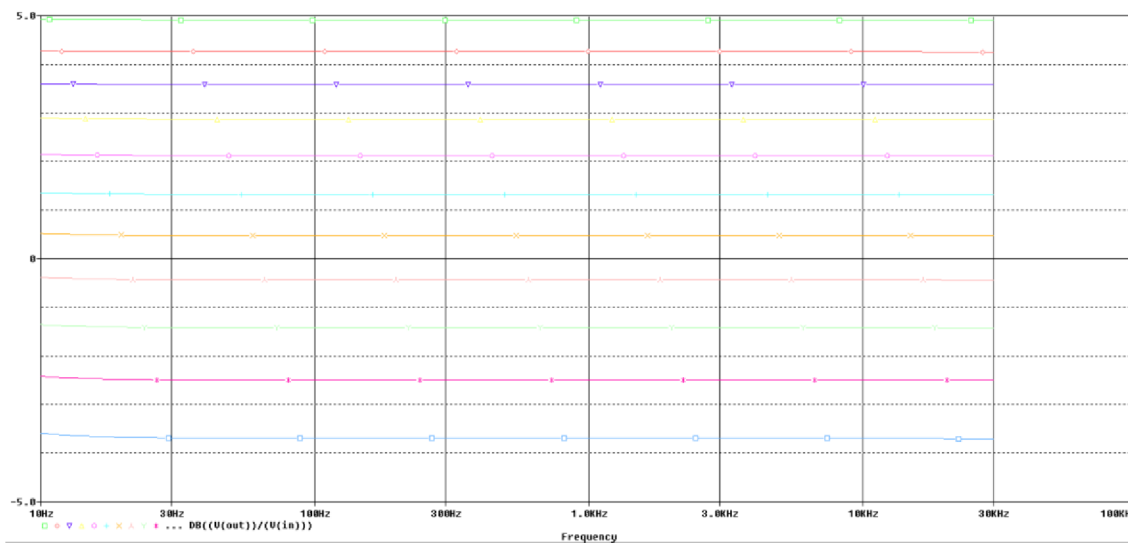
Na obrázku 23 můžeme vidět schéma zapojení sluchátkového zesilovače v programu OrCAD CAPTURE. Simulace tohoto obvodu bude provedena s rozmítáním parametru SET. Postupujeme stejně jako v předchozích případech. Nejprve si zobrazíme hodnoty napětí a proudu v obvodu, dále modulovou kmitočtovou charakteristiku bez rozmítání a poté s rozmítáním.



Obr. 23 – Schéma sluchátkového zesilovače s Bias Point analýzou



Obr. 24 – Plochá modulová frekvenční charakteristika sluchátkového zesilovače



Obr. 25 – Modulová frekvenční charakteristika sluchátkového zesilovače s rozmítáním

Při nastavení potenciometru do střední polohy je možné odečíst hodnotu zesílení kolem 1,3 dB (viz obr. 24). Z provedených simulací je patrné, že zesilovač má maximální zesílení necelých 5 dB a útlum skoro 4 dB (viz obr. 25). V tuto chvíli není jasné, zda bude zesílení dostatečné. Je možné, že bude nutná změna hodnot součástek.

3 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Než bude přistoupeno k návrhu desek plošných spojů, je nutno si uvědomit, jestli je uvažováno co nejmenší zařízení nebo na velikosti příliš nezáleží. Tomuto požadavku je přizpůsoben celkový návrh desek. Při našem návrhu jsou diskrétní součástky realizovány převážně v SMD provedení z důvodu velikostních požadavků. Desky plošných spojů jsou navrženy tak, že na každý blok z blokového schématu připadá jedna deska z důvodu snadnějšího vyhledávání případných chyb a jejich následných oprav. Výjimkou je pětipásmový ekvalizér, který se na jedné desce nachází společně s faderem a panoramou. Dále je nutno zmínit fakt, že se všechny konektory a ovládací prvky nachází mimo desky plošných spojů a jsou do obvodu připojeny stíněným kabelem. Taktéž jednotlivé desky jsou tímto kabelem propojeny. Stíněný kabel je použit z důvodu zamezení rušení. Konektory a ovládací prvky budou při návrhu ve schématu a na desce reprezentovány šroubovací svorkovnicí pro snadné připojení kabelu. Konektory pro napájení jednotlivých obvodů jsou realizovány pomocí pinů a napájecí kabel k nim bude připojen pomocí dutinkových lišt. Integrované obvody a všechny operační zesilovače nejsou přímo pájeny do desky, ale jsou připojeny do obvodu přes patičky z důvodu snadné výměny v případě poškození a kvůli eliminaci rizika poškození součástky teplem při pájení. Všechny desky plošných spojů budou do krabice připevněny pomocí distančních sloupků se závity M2,5. Tomuto požadavku jsou přizpůsobeny montážní otvory v rozích desek.

Desky byly vyrobeny firmou JLCPCB, která je známá poměrně rychlou a levnou výrobou a velkým množstvím různých konfigurací podle potřeb zákazníka (barva desky, počet vrstev, pozlacené kontakty atd.). Pro naše potřeby ovšem stačila základní konfigurace, která není finančně náročná. Zhruba dva týdny po objednání byly desky připraveny k osazování.

Všechna schémata zapojení, osazovací plány, soupisky všech součástek a fotodokumentace desek plošných spojů i celkového rozložení do krabice jsou k dispozici v elektronické příloze.

3.1 Návrh jednotlivých desek plošných spojů

V této podkapitole budou představeny jednotlivé desky plošných spojů a bude řečeno, jestli se při návrhu nebo osazování objevil jakýkoli problém. Zároveň tato podkapitola obsahuje úvahy, nad kterými bylo rozmýšleno při návrhu desek.

3.1.1 Vstupní obvod - XLR/JACK

Jedná se o oboustrannou desku plošných spojů (součástky i signálové trasy jsou z vrchní i spodní strany desky) o velikosti 40x48 mm. Jak už bylo zmíněno, konektor i všechny ovládací prvky se nachází mimo desku, ale jelikož se jedná o vstupní obvod, který bude

v krabici umístěn hned na začátku, bylo ze začátku uvažováno, že přepínač PAD 20 dB bude přímo připájen k desce. Z tohoto rozhodnutí bylo ustoupeno z důvodu snadnější manipulace s deskami a případných změn při rozmístění. Je zde kladen velký důraz na používání stíněných kabelů, protože tento vstupní obvod pracuje s poměrně malými napěťovými úrovněmi a nachází se v blízkosti síťového transformátoru. Deska je osazena převážně SMD součástkami s výjimkou operačního zesilovače, tranzistorů a kondenzátorů s vyšší kapacitou.

3.1.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)

Tato deska je rozměrově nejmenší ze všech použitých desek plošných spojů, konkrétně 31x28 mm. Stejně jako v předchozím případě se jedná o oboustrannou desku. Důvod malých rozměrů je celkový počet součástek, kdy jsou všechny použity v SMD provedení, kromě operačního zesilovače NE5532. I přes malé rozměry je deska konstruována pro levý i pravý kanál.

3.1.3 Pětipásmový ekvalizér, fader + panorama

Oboustranná deska pětipásmového ekvalizéru společně s faderem a panoramou o rozměrech 69x34 mm je největší ze všech desek s největším počtem součástek. Při osazování této desky byl objeven první větší problém. Návrh byl proveden tak, že svorkovnice pro potenciometry, které zajišťují frekvenční korekci jednotlivých pásem byly umístěny moc blízko u sebe, to znamená, že by bylo velice obtížné připojení vodičů, které propojují potenciometry s deskou. Tento problém bude vyřešen tak, že vodič bude přímo připájen k desce a pomocí dutinkových konektorů je připojen k vývodům potenciometru.

3.1.4 LED indikátor vybuzení

Narozdíl od ostatních desek plošných spojů je tato deska jednostranná. Zároveň jsou zde všechny použité součástky v THT provedení z důvodu, že deska indikátoru vybuzení společně s deskou napájecího zdroje byly navrhovány nejdříve ze všech. I v tomto případě se vyskytl problém. Při návrhu byla vybrána příliš malá velikost trimru, který nastavuje napěťovou úroveň signálu pro další zpracování. Tento problém byl vyřešen obstaráním rozměrově nejmenšího možného trimru a následně mírným ohnutím jeho vývodů.

3.1.5 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač

Stejně jako většina předchozích případů i tato deska je navržena oboustranně. Nízký počet součástek zajišťuje malé rozměry desky a to konkrétně 35x42 mm. Nachází se zde převážně SMD součástky s výjimkou elektrolytických kondenzátorů a operačního zesilovače TL072. Jelikož tento integrovaný obvod obsahuje dva operační zesilovače, je samotná deska konstruována pro pravý i levý kanál.

3.1.6 Napájecí zdroj

Deska plošných spojů napájecího zdroje je pouze jednostranná a použité součástky jsou v THT provedení, ale přesto má deska poměrně malé rozměry. První problém, který se při konstrukci objevil, byl můstkový usměrňovač, který měl být umístěn velmi blízko ke svorkovnici, do které je přivedeno střídavé napětí z obou sekundárních vinutí transformátoru, tudíž by se šroub na svorkovnici nedal dobře utáhnout. Z toho důvodu bylo potřeba vývody usměrňovače mírně ohnout, aby nezasahoval do míst svorkovnice, kde je potřeba utahovat přívodní kabel. Další problém, který se po obdržení desek objevil byl ten, že otvory, kterými se napájecí zdroj připevní k distančním sloupkům, jsou příliš malé. K tomuto omylu došlo špatným nastavením jednotek v programu Autodesk EAGLE při návrhu desky a následně tato chyba nebyla opravena. Zvětšení otvorů vyvrtáním není možné, protože vrtáním by byla poškozena nepájivá maska desky a ve výjimečném případě by mohlo dojít ke zkratu napájecího zdroje. Řešení bude takové, že deska bude přilepena k distančnímu sloupku a díky tomu nebude nepájivá maska narušena.

3.1.7 Transformátor

Pro připojení síťového napětí 230 V byla vyrobena samostatná deska pro transformátor. Toto napětí bude připojeno přes IEC konektor a následně přes pojistku připojeno na primární vedení transformátoru. Deska je navržena podle rozměrů transformátoru doplněného o připojovací svorkovnice.

4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Po navržení desek, osazení součástkami a oživení je potřeba ověřit funkčnost prototypu měřením v laboratoři. Po dokončení měření budou porovnány naměřené výsledky s těmi, které jsou k vidění v kapitole 2.4 při simulování jednotlivých obvodů. Pro měření byly použity následující přístroje:

- nízkofrekvenční funkční generátor Agilent 33220A
- digitální osciloskop Agilent DSO3102A
- nízkofrekvenční milivoltmetr Grundig MV100
- napájecí zdroj Diametral P230R51D

4.1 Výsledky měření jednotlivých obvodů

V této podkapitole budou představeny výsledky měření, které probíhalo v laboratoři Audio elektroniky. U obvodů byla měřena modulová kmitočtová charakteristika, harmonické zkreslení druhé a třetí harmonické a THD+N. Nakonec byl změřen i vstupní odpor daného obvodu.

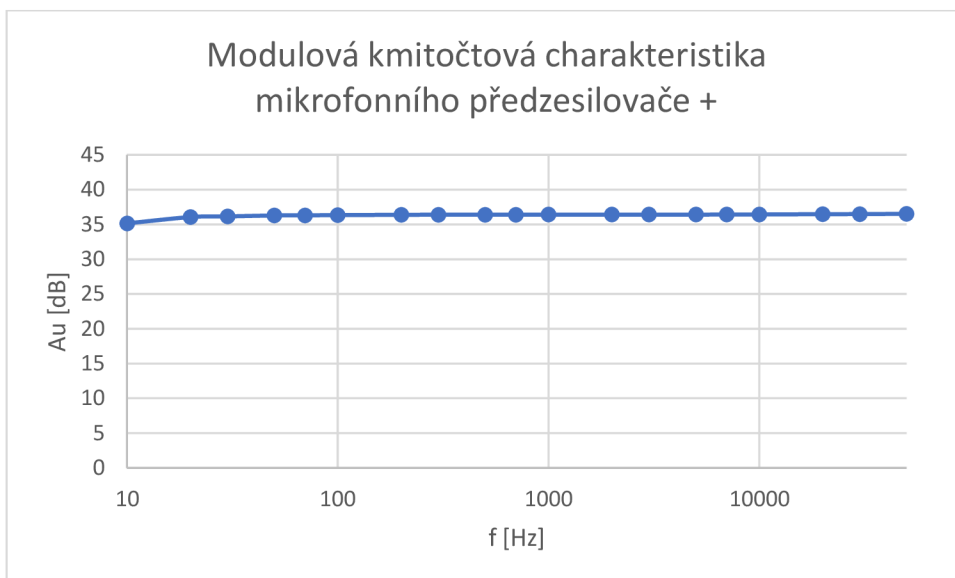
4.1.1 Vstupní obvod – XLR/JACK

Výsledky z měření modulové kmitočtové charakteristiky vidíme na obrázcích 26 a 27. Tyto grafické závislosti byly vytvořeny z naměřených hodnot viz tab. 1. Napěťové zesílení dosahuje maximální hodnoty téměř 40 dB, což je hodnota, která byla ověřena simulací (obr. 11). Měření harmonického zkreslení (viz tab. 2) bylo provedeno pro dvě různá vstupní napětí. Při vyšším vstupním napětí docházelo k výraznějšímu zkreslení. To je omezeno napájecím napětím ± 12 V. Pokud bychom chtěli zkreslení eliminovat, museli bychom napájecí napětí zvýšit.

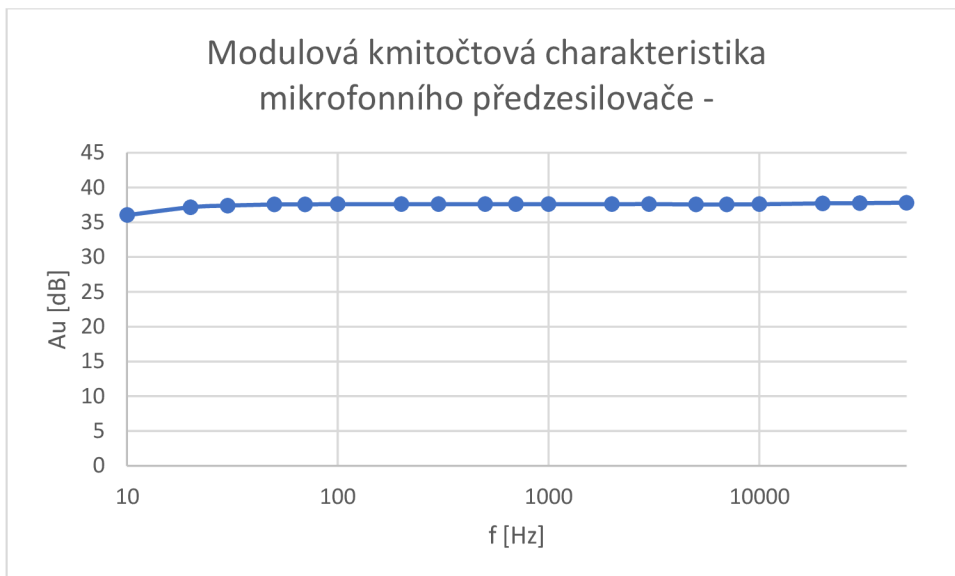
Tab. 1 - tabulka naměřených hodnot modulové kmitočtové charakteristiky:

U1 = 100 mVrms		
f[Hz]	Au [dB] +	Au [dB] -
10	35,15	36,03
20	36,06	37,16
30	36,15	37,40
50	36,28	37,56
70	36,30	37,58
100	36,34	37,59
200	36,38	37,59
300	36,39	37,59
500	36,39	37,59
700	36,39	37,59
1000	36,40	37,59
2000	36,40	37,59
3000	36,40	37,62
5000	36,40	37,56
7000	36,42	37,57
10000	36,43	37,59
20000	36,47	37,72
30000	36,48	37,75
50000	36,50	37,79

Grafické závislosti:



Obr. 26 – modulová kmitočtová charakteristika mikrofonního předzesilovače větev +



Obr. 27 - modulová kmitočtová charakteristika mikrofonního předzesilovače větev -

Tab. 2 – měření harmonického zkreslení:

+	f = 1 kHz		
U1 = 100 mVrms	U1 = 500 mVrms		
Level [V]	6,69	Level [V]	9,74
k2 [%]	0,082	k2 [%]	9,86
k3 [%]	0,014	k3 [%]	6,11
THD+N [%]	0,203	THD+N [%]	5,48

-	f = 1 kHz		
U1 = 100 mVrms	U1 = 500 mVrms		
Level [V]	7,66	Level [V]	10,5
k2 [%]	0,192	k2 [%]	9,463
k3 [%]	0,016	k3 [%]	6,42
THD+N [%]	0,463	THD+N [%]	6,032

Vstupní odpor = 86 k Ω

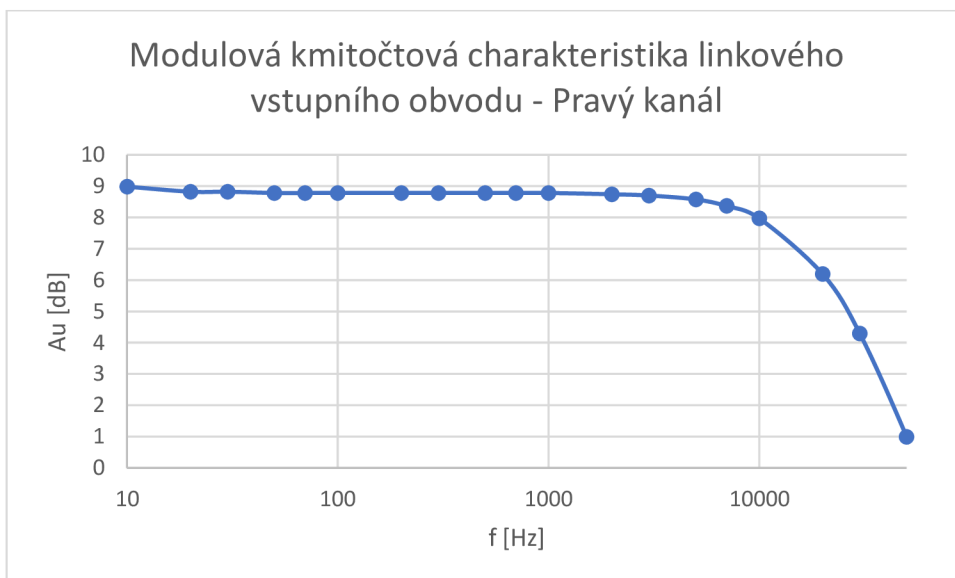
4.1.2 Vstupní obvod – RCA (CINCH)

Při měření modulové kmitočtové charakteristiky (viz tab. 3) bylo zjištěno, že maximální hodnota napěťového zesílení se blíží k 9 dB. Téměř totožná hodnota byla ověřena simulací. Modulové kmitočtové charakteristiky obou kanálů jsou k vidění na obrázcích 28 a 29. Při měření harmonického zkreslení (tab. 4) nepozorujeme žádné výrazné zkreslení.

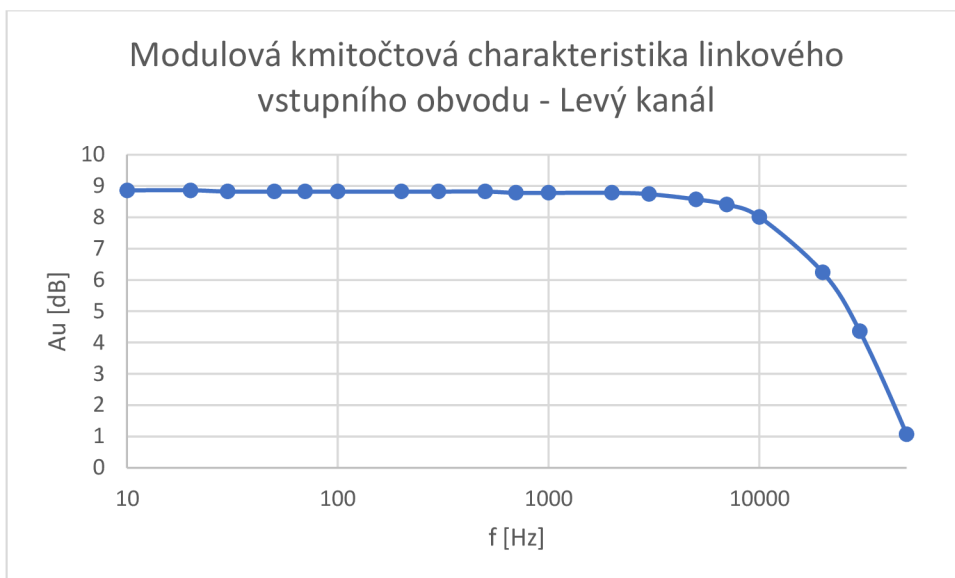
Tab. 3 - tabulka naměřených hodnot modulové kmitočtové charakteristiky:

U1 = 775 mVrms		
f[Hz]	Au [dB] Pravý	Au [dB] levý
10	8,98	8,86
20	8,82	8,86
30	8,82	8,82
50	8,78	8,82
70	8,78	8,82
100	8,78	8,82
200	8,78	8,82
300	8,78	8,82
500	8,78	8,82
700	8,78	8,78
1000	8,78	8,78
2000	8,74	8,78
3000	8,70	8,74
5000	8,58	8,58
7000	8,36	8,41
10000	7,97	8,01
20000	6,19	6,24
30000	4,29	4,36
50000	0,99	1,07

Grafické závislosti:



Obr. 28 – modulová kmitočtová charakteristika linkového vstupního obvodu – Pravý kanál



Obr. 29 – modulová kmitočtová charakteristika linkového vstupního obvodu – Levý kanál

Tab. 4 - měření harmonického zkreslení:

Pravý	f = 1 kHz
U1 = 775 mVrms	
Level [V]	2,14
k2 [%]	0,005
k3 [%]	0,001
THD+N [%]	0,036

Levý	f = 1 kHz
U1 = 775 mVrms	
Level	2,13
k2 [%]	0,005
k3 [%]	0,002
THD+N [%]	0,02

Vstupní odpor = 93 kΩ

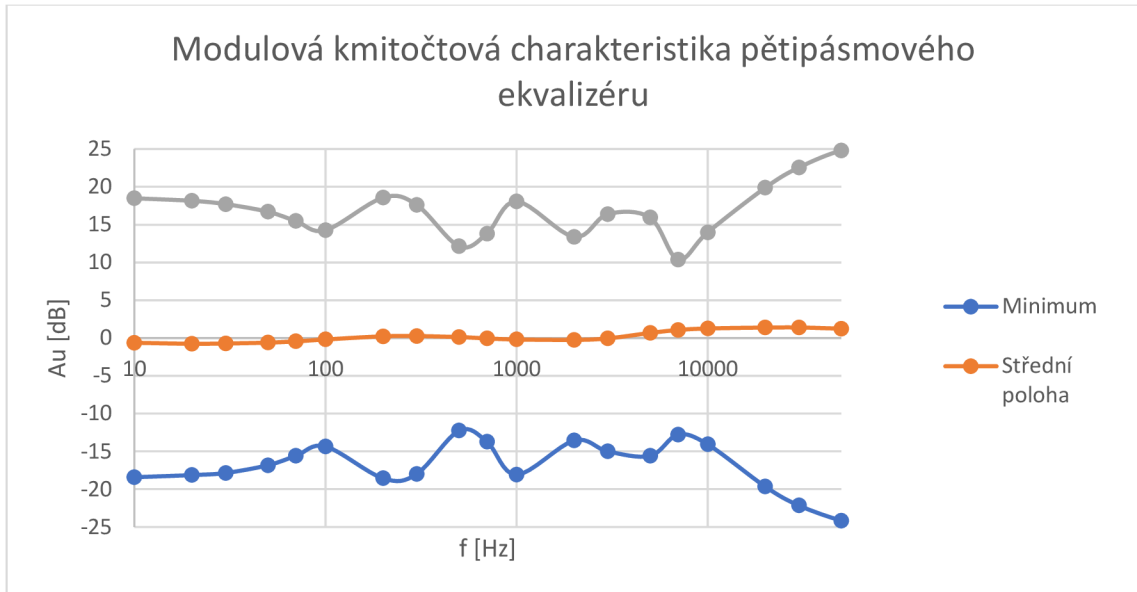
4.1.3 Pětípásmový ekvalizér

Měření modulové kmitočtové charakteristiky bylo prováděno pro tři následující případy. V prvním případě byly všechny potenciometry vytočeny do maxima (všechna pásma utlumeny). V druhém případě byly všechny potenciometry ve střední poloze, tudíž není očekáván žádný útlum ani zesílení signálu. V posledním případě jsou všechny potenciometry vytočeny do minima (maximální zesílení). Z naměřených hodnot (viz tab. 5) vidíme, že při vytočení všech potenciometrů do střední polohy nepozorujeme téměř žádné zesílení. Při vytočení do maxima a do minima pozorujeme téměř symetrický průběh útlumu a zesílení (obr. 30). Nejvyšších hodnot útlumu a zesílení nabývají kmitočtová pásma 50 Hz a 15 kHz. Naměřené výsledky jsou téměř totožné s výsledky simulací. Z naměřených hodnot harmonického zkreslení (tab. 6) je možné pozorovat minimální zkreslení pětípásmového ekvalizéru.

Tab. 5 - tabulka naměřených hodnot modulové kmitočtové charakteristiky:

U1 = 500 mVrms			
f[Hz]	Au [dB] min	Au [dB] stř	Au [dB] max
10	-18,42	-0,63	18,49
20	-18,13	-0,76	18,15
30	-17,86	-0,72	17,71
50	-16,83	-0,61	16,70
70	-15,60	-0,45	15,48
100	-14,33	-0,19	14,25
200	-18,56	0,22	18,57
300	-17,99	0,26	17,62
500	-12,25	0,12	12,13
700	-13,72	-0,05	13,80
1000	-18,09	-0,19	18,08
2000	-13,56	-0,25	13,37
3000	-14,99	-0,05	16,39
5000	-15,60	0,67	15,93
7000	-12,77	1,06	10,37
10000	-14,07	1,26	13,98
20000	-19,66	1,38	19,88
30000	-22,16	1,39	22,56
50000	-24,15	1,24	24,78

Grafická závislost:



Obr. 30 – modulová kmitočtová charakteristika pětípásmového ekvalizéru

Tab. 6 - měření harmonického zkreslení:

f = 1 kHz	
U1 = 500 mVrms	
Level [V]	0,557
k2 [%]	0,003
k3 [%]	0,002
THD+N [%]	0,021

Vstupní odpor = 13 k Ω

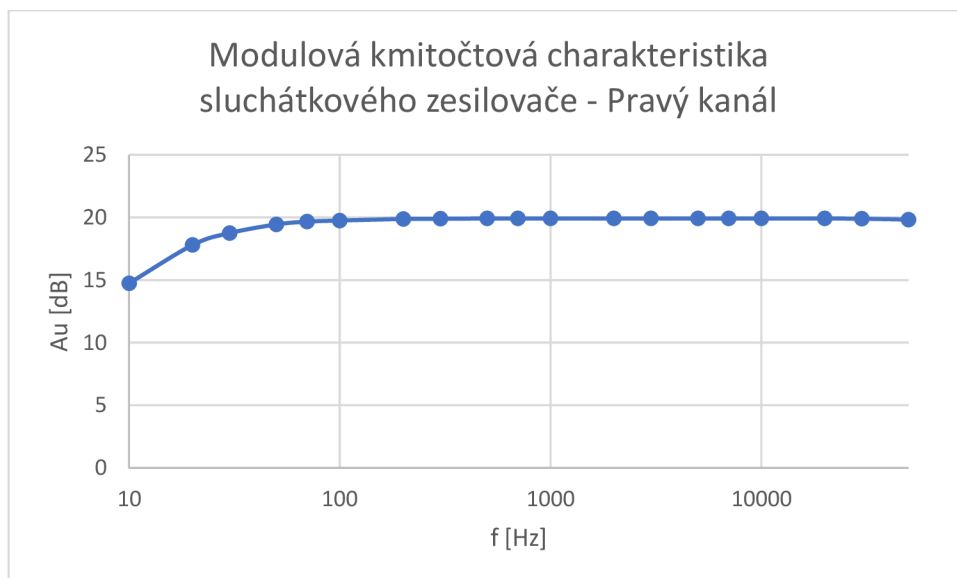
4.1.4 Výstupní obvod – sluchátkový zesilovač

Při měření modulové kmitočtové charakteristiky bylo zjištěno, že maximální hodnota napěťového zesílení se oproti simulaci výrazně liší. Naměřená maximální hodnota zesílení se blíží k 20 dB, zatímco maximální hodnota, která byla zjištěna při simulaci je pouze 5 dB. Naměřené hodnoty napěťového zesílení je možné vidět v tab. 7 a průběhy modulové kmitočtové charakteristiky pro oba kanály jsou k vidění na obrázcích 31 a 32. Při měření harmonického zkreslení (tab. 8) opět nebylo zjištěno žádné výrazné zkreslení signálu.

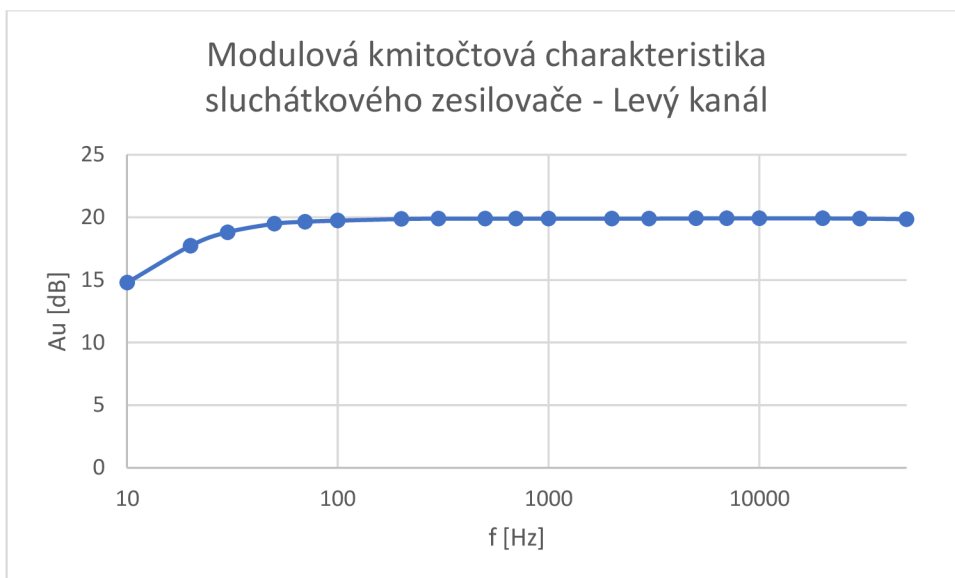
Tab. 7 - tabulka naměřených hodnot modulové kmitočtové charakteristiky:

U1 = 500 mVrms		
f[Hz]	Au [dB] Pravý	Au [dB] Levý
10	14,74	14,78
20	17,80	17,73
30	18,75	18,81
50	19,44	19,48
70	19,66	19,65
100	19,75	19,74
200	19,88	19,86
300	19,90	19,90
500	19,91	19,90
700	19,91	19,90
1000	19,91	19,90
2000	19,91	19,90
3000	19,91	19,90
5000	19,91	19,91
7000	19,91	19,91
10000	19,91	19,91
20000	19,91	19,91
30000	19,90	19,90
50000	19,82	19,84

Grafické závislosti:



Obr. 31 -modulová kmitočtová charakteristika sluchátkového zesilovače – Pravý kanál



Obr. 32 -modulová kmitočtová charakteristika sluchátkového zesilovače – Levý kanál

Tab. 8 - měření harmonického zkreslení:

Pravý	f = 1 kHz		
U1 = 100 mVrms	U1 = 500 mVrms		
Level [V]	0,99	Level [V]	4,95
k2 [%]	0,005	k2 [%]	0,005
k3 [%]	0,001	k3 [%]	0,001
THD+N [%]	0,028	THD+N [%]	0,016

Levý	f = 1 kHz		
U1 = 100 mVrms	U1 = 500 mVrms		
Level [V]	0,99	Level [V]	4,95
k2 [%]	0,005	k2 [%]	0,006
k3 [%]	0,001	k3 [%]	0,001
THD+N [%]	0,033	THD+N [%]	0,017

Vstupní odpor = 45 kΩ

5 ZÁVĚR

Účelem bakalářské práce bylo navrhnout vlastní řešení mixážního pultu pro audio signály, který by splňoval osobní požadavky. V první části byla teoreticky představena problematika mixážních pultů. Byly představeny jednotlivé funkční bloky, které pulty obsahují a následně rozdělení a využití. Při práci bylo dosaženo všech požadavků, které jsou vypsány v zadání bakalářské práce. Nejprve bylo navrženo blokové, poté i obvodové schéma mixážního pultu, který umožňuje jak celkovou regulaci úrovně signálu na výstupu, tak i regulaci úrovně jednotlivých kanálů. Dále je každý kanál vybaven LED indikátorem vybuzení a pětipásmovým ekvalizérem pro frekvenční korekci signálu. Při návrhu obvodových schémat byly pozměněny některé hodnoty součástek oproti originálnímu schématu z důvodu, že každé použité schéma je navrženo pro trochu jiný účel a má jiné parametry (zesílení, vstupní impedanci atd.). Nad rámec zadání byly některé bloky simulovány v programu OrCAD CAPTURE a na základě právě těchto simulací byly hodnoty součástek pozměněny. Simulací jsme také ověřili činnost jednotlivých funkčních bloků. Ve většině případů jsme viděli průběh, který byl očekáván, tudíž nebylo nutné výrazně zasahovat do použitých schémat. V jednom případě, konkrétně u vstupního mikrofonního obvodu, bylo potřeba vybrat jiné schéma než to, které bylo uvažováno na začátku. Dále byly vytvořeny kompletní podklady pro výrobu prototypu. Prototyp byl sestaven a následně byly některé obvody experimentálně měřeny v laboratoři audio techniky. Naměřené hodnoty byly zpracovány a byly vytvořeny grafické závislosti modulových kmitočtových charakteristik. Oproti simulovaným hodnotám se naměřené hodnoty zesílení výrazněji liší pouze v případě sluchátkového zesilovače. Ten vykazuje zesílení až 20 dB, což je o 15 dB více, než bylo zobrazeno v simulačním programu. Funkční prototyp bude ponechán autorovi, kde najde uplatnění v oblasti nahrávání a poslechu hudby.

Příloha obsahuje schéma zapojení pro jeden mikrofonní a jeden linkový vstup, dále všechna schémata zapojení, které byly použity pro návrh desek plošných spojů, osazovací plány, soupisky všech součástek a fotodokumentace desek plošných spojů i celkového rozložení v krabici.

LITERATURA

- [1] WIRSUM, S. *Abeceda nf techniky*. Praha: BEN – technická literatura, 2003.
- [2] KÁŇA, L. *Studiová a hudební elektronika*. Skriptum FEKT VUT, Brno, 2009
- [3] STAVEBNICE RÁDIO PLUS-KTE. *Nízkošumový předzesilovač pro dynamický mikrofon*, 2004.
- [4] VLACHÝ, V. *Praxe zvukové techniky*. Praha: Muzikus, 2000.
- [5] METZLER, B. *Audio Measurement Handbook*. Beaverton, Audio Precision, Inc., 1993.
- [6] Circuitlib.cz. *How to build an audio mixer*. [online]. 2014 – [cit. 21. října 2021]. Dostupné na WWW: <http://www.circuitlib.com/index.php/tutorials/product/39-how-to-build-an-audio-mixer>
- [7] Elektroakustika.cz. *Malý mixážní pult se symetrickými vstupy*. [online]. 2005 – [cit. 15. října 2021]. Dostupné na WWW: <http://www.elektroakustika.cz/mix.html>
- [8] Pira.cz. *Indikátor vybuzení s 10 LED*. [online]. 2009 – [cit. 15. října 2021]. Dostupné na WWW: <http://www.pira.cz/bar.htm>
- [9] Belza.cz. *5-pásmový nf ekvalizér*. [online]. 2009 – [cit. 17. října 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.belza.cz/audio/eq5b.htm>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

LED	Light Emitting Diode
XLR	eXternal Live Return
DC	Direct Current
AC	Alternate Current
A/D	Analog to Digital
D/A	Digital to Analog
THT	Through Hole Technology
SMD	Surface Mount Device
DPS	Deska plošných spojů

Symboly:

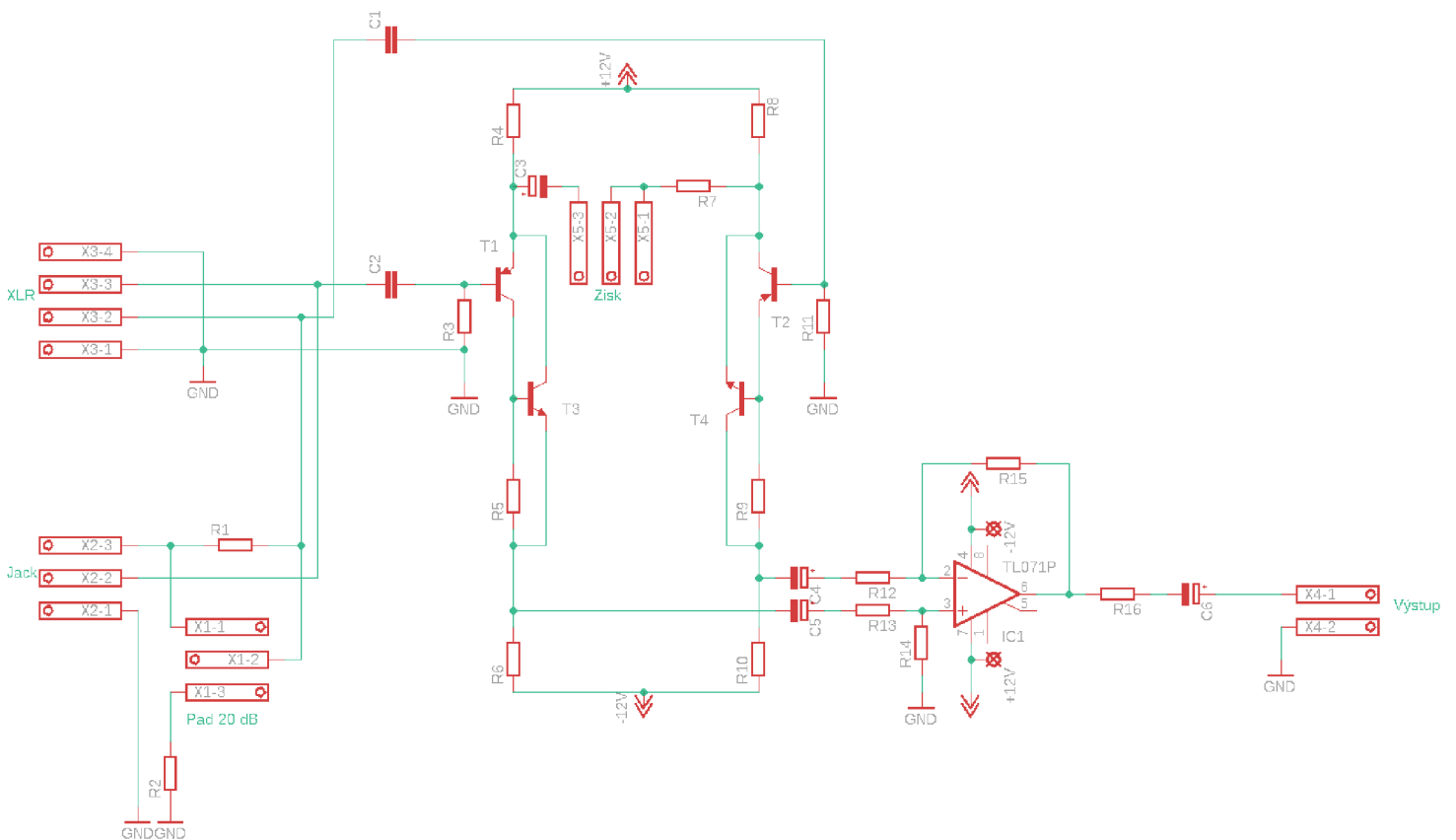
U_{OUT}	Výstupní napětí	(V)
U_{IN}	Vstupní napětí	(V)
A_U	Napěťové zesílení	(dB)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Kompletní schéma zapojení pro jeden mikrofonní a jeden linkový vstup...46	46
Příloha 2 – Vstupní obvod XLR/JACK 6,3 mm - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie.....47	47
Příloha 3 – Vstupní obvod – RCA (CINCH) - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie.....52	52
Příloha 4 – Pětipásmový ekvalizér + fader, panorama - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie.....57	57
Příloha 5 – Sluchátkový zesilovač - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie.....63	63
Příloha 6 – LED indikátor vybuzení - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plán, maska, fotografie.....68	68
Příloha 7 – Napájecí zdroj - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plán, maska, fotografie.....71	71
Příloha 8 – Deska transformátoru – maska, fotografie.....74	74
Příloha 9 – Fotografie rozložení desek plošných spojů v krabici.....76	76

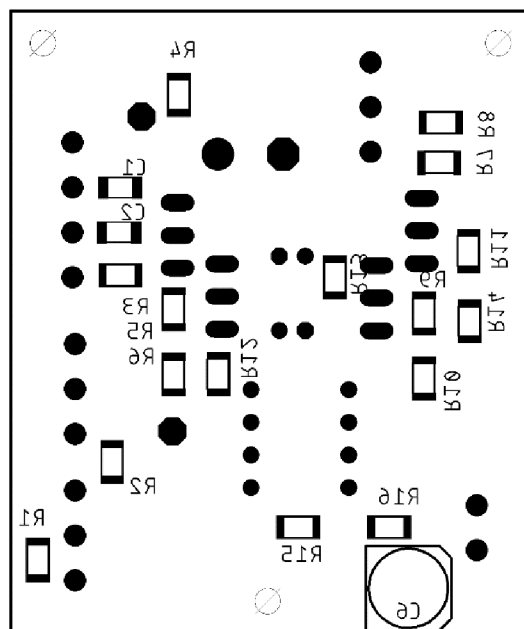
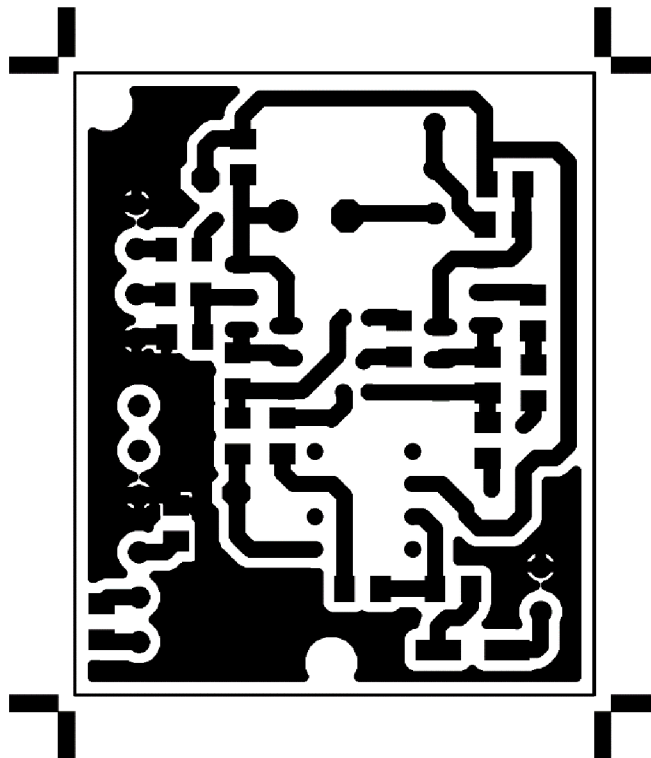
Příloha 2 - Vstupní obvod XLR/JACK 6,3 mm - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie

Rezistory	Hodnota	Potenciometry	Hodnota	Kondenzátory	Hodnota	Tranzistory	Typ	OZ	Typ
R1	1k	P1	100k	C1	10u	T1	BC559C	IC1	TL071
R2	100R			C2	10u	T2	BC559C		
R3	3k3			C3	1000u	T3	BC549C		
R4	4k7			C4	4u7	T4	BC549C		
R5	680R			C5	4u7				
R6	2k2			C6	10u				
R7	270R								
R8	4k7								
R9	680R								
R10	2k2								
R11	3k3								
R12	22k								
R13	22k								
R14	150k								
R15	150k								
R16	100R								

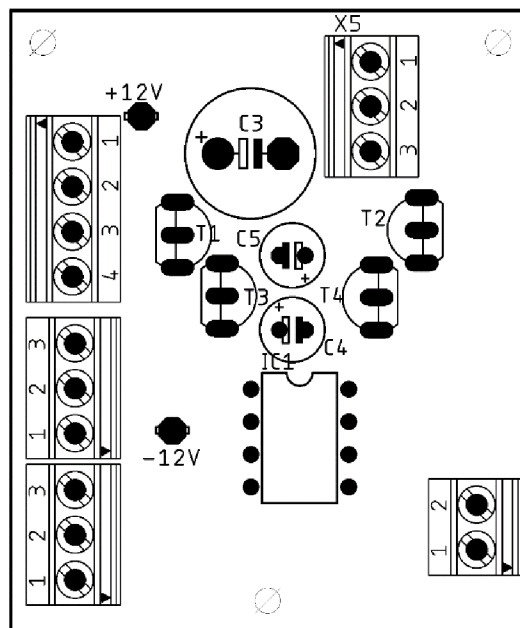
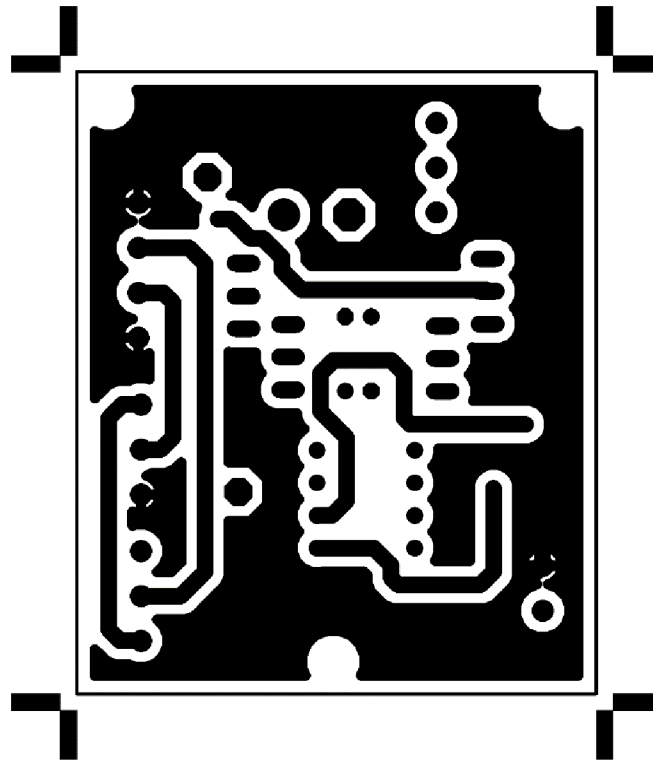


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 40x48 mm, M1:1,75

Spodní strana desky:

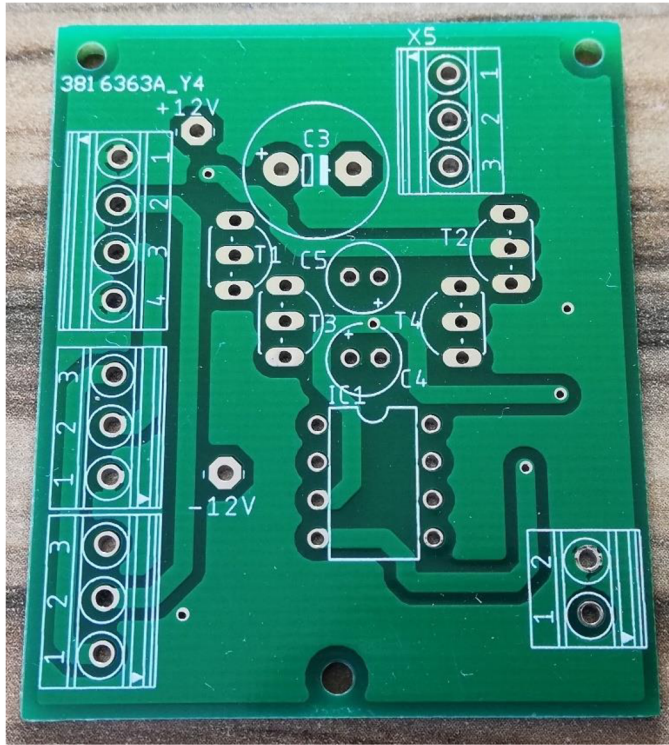


Vrchní strana desky:

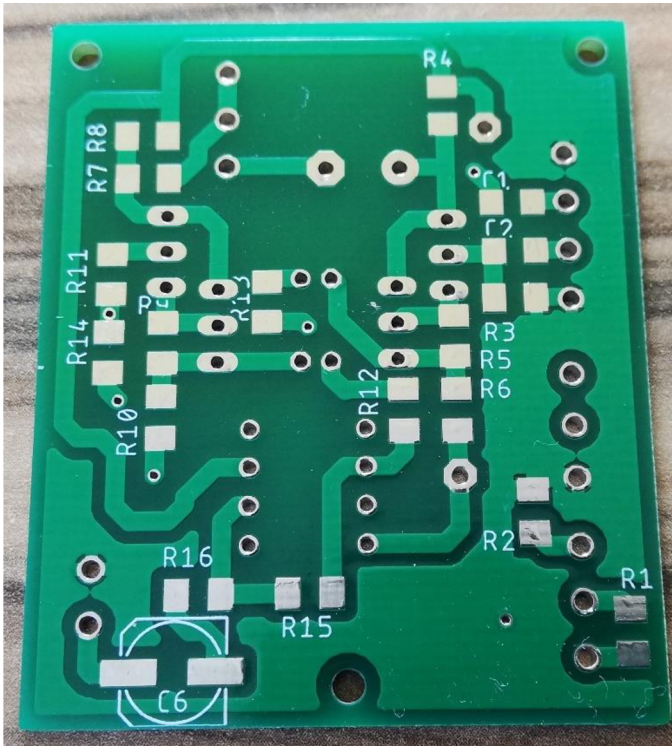


Fotografie:

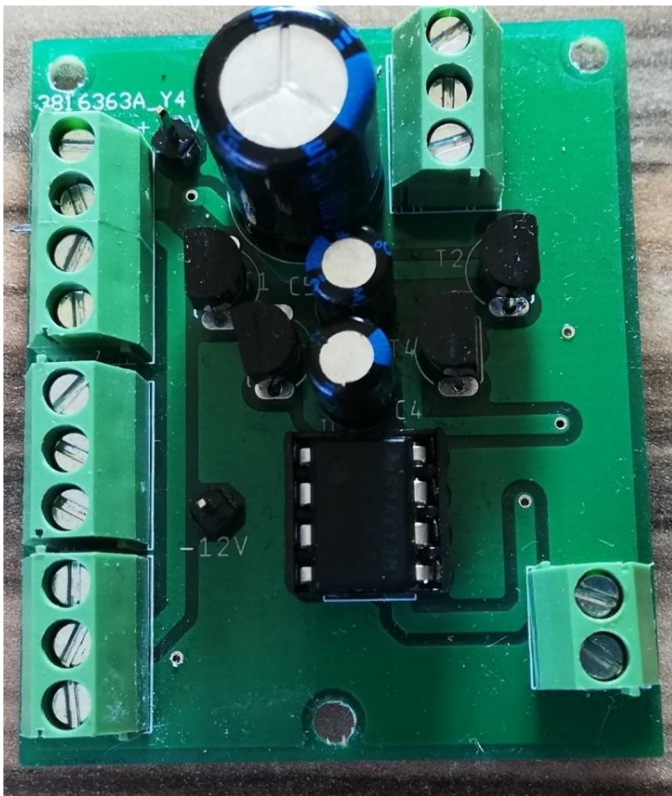
Neosazená deska – vrchní strana



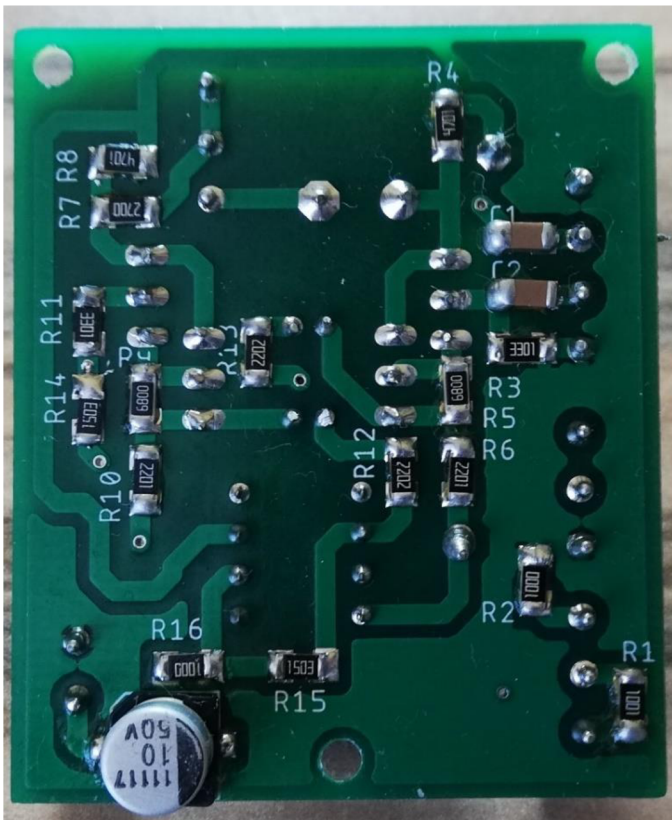
Neosazená deska – spodní strana



Osazená deska – vrchní strana

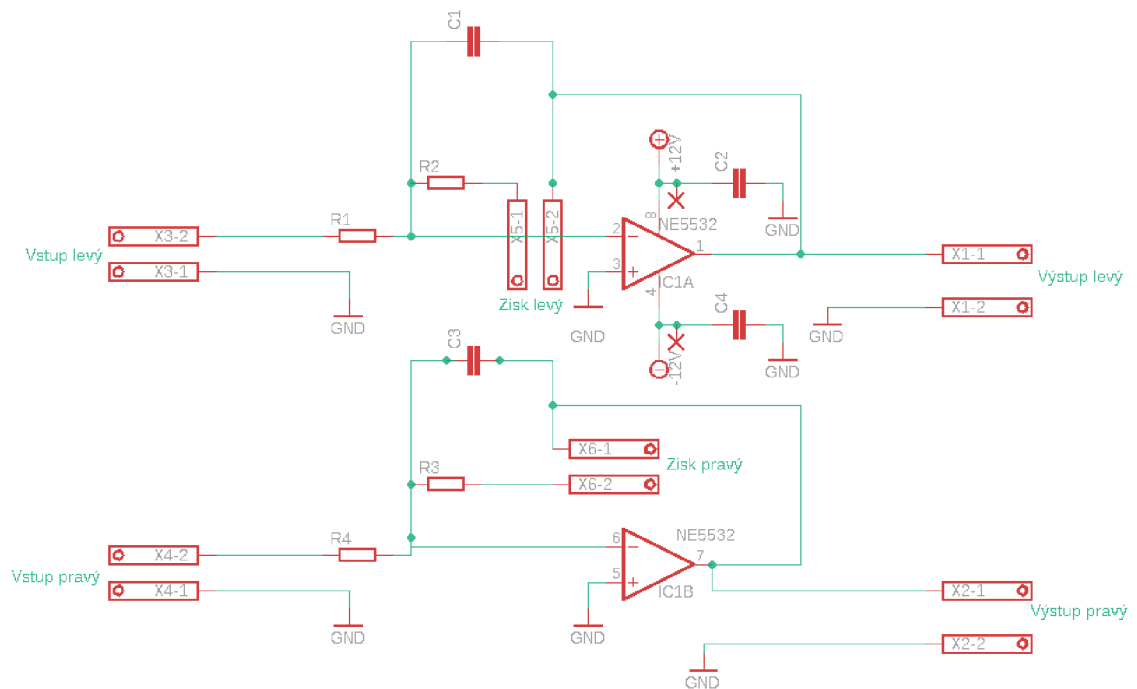


Osazená deska – spodní strana



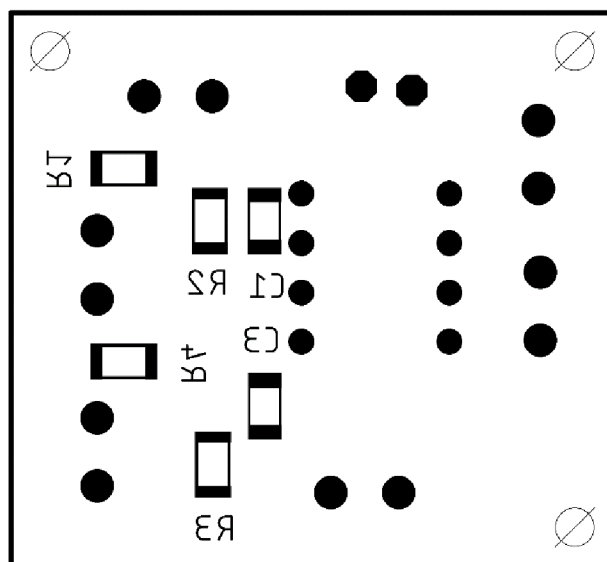
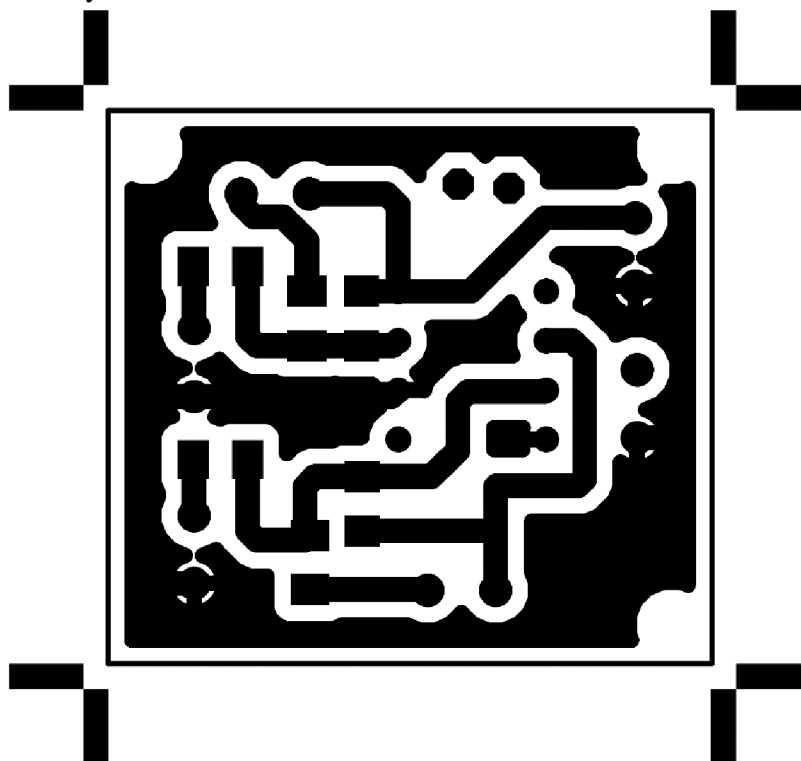
Příloha 3 – Vstupní obvod – RCA (CINCH) - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie

Rezistory	Hodnota	Potenciometry	Hodnota	Kondenzátory	Hodnota	OZ	Typ
R1	47k	P1A	100k	C1	47p	IC1	NE5532
R2	22k	P1B	100k	C2	100n		
R3	22k			C3	47p		
R4	47k			C4	100n		

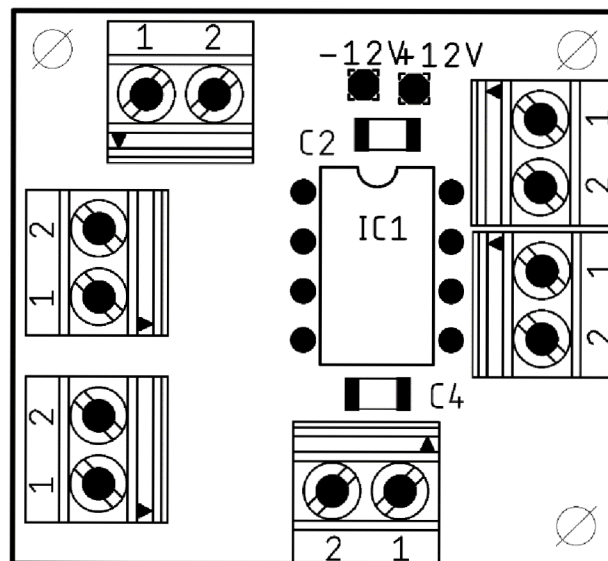
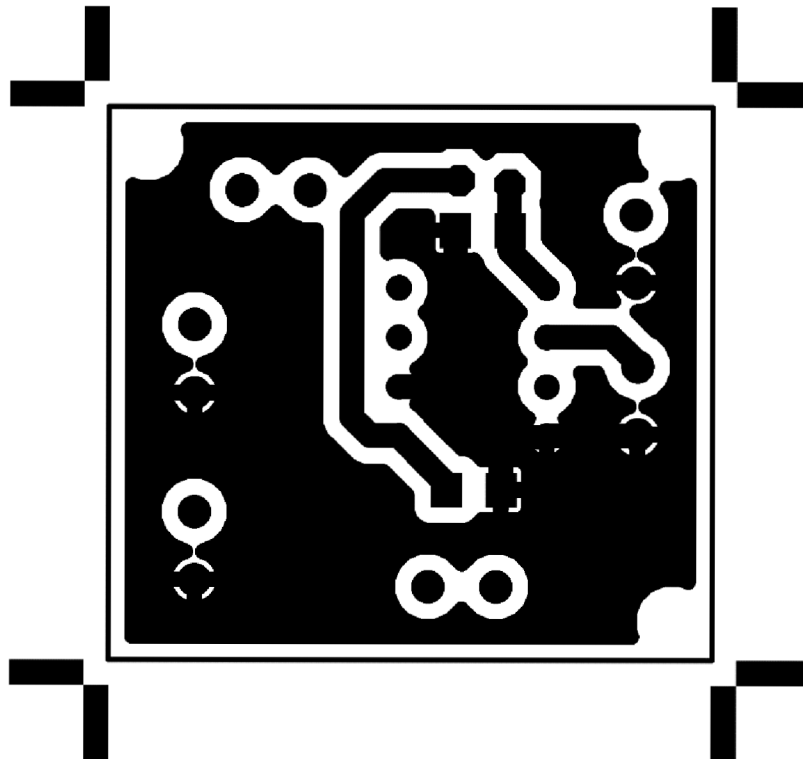


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 31x28,5 mm, M1:2,58

Spodní strana desky:

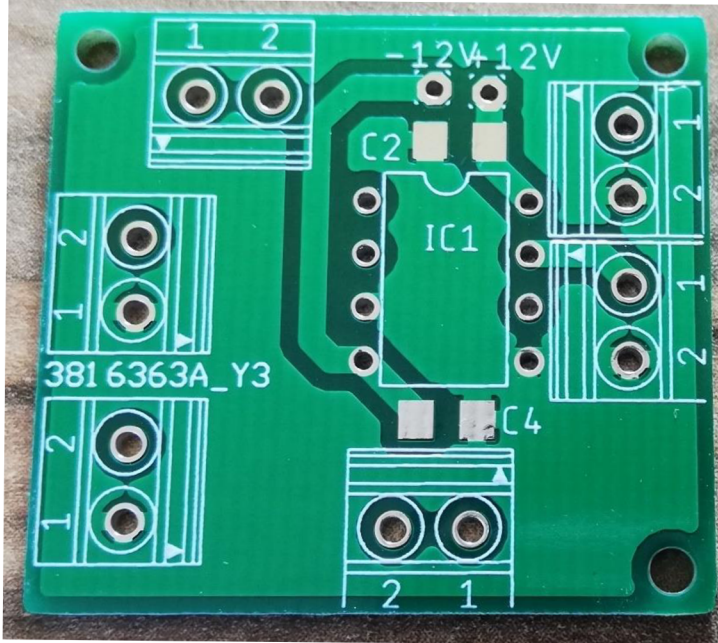


Vrchní strana desky:

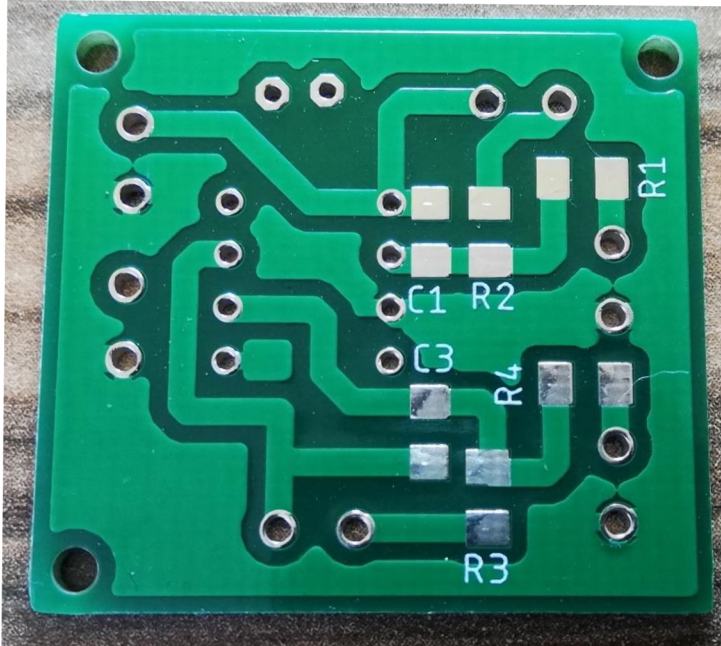


Fotografie:

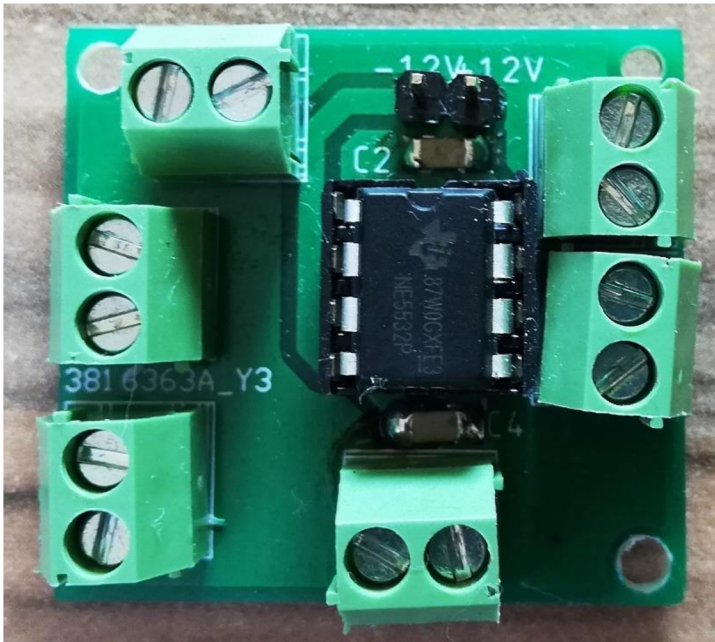
Neosazená deska – vrchní strana



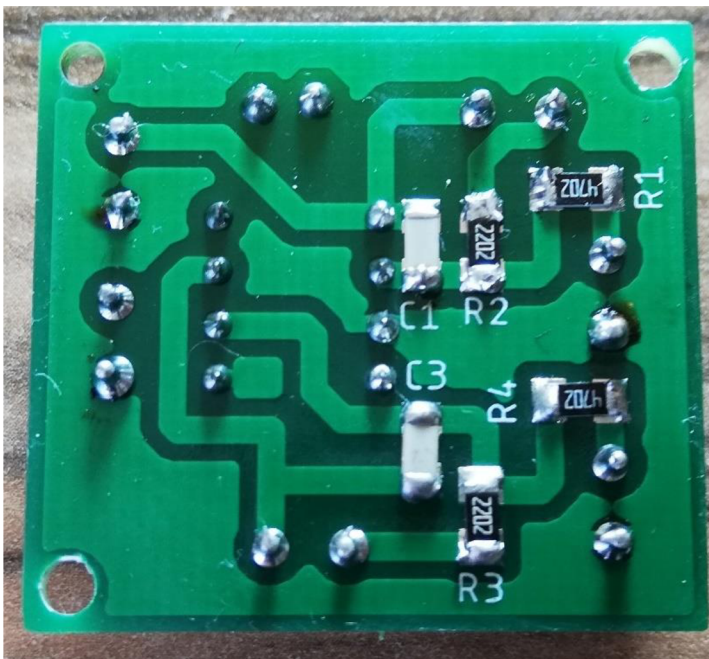
Neosazená deska – spodní strana



Osazená deska – vrchní strana

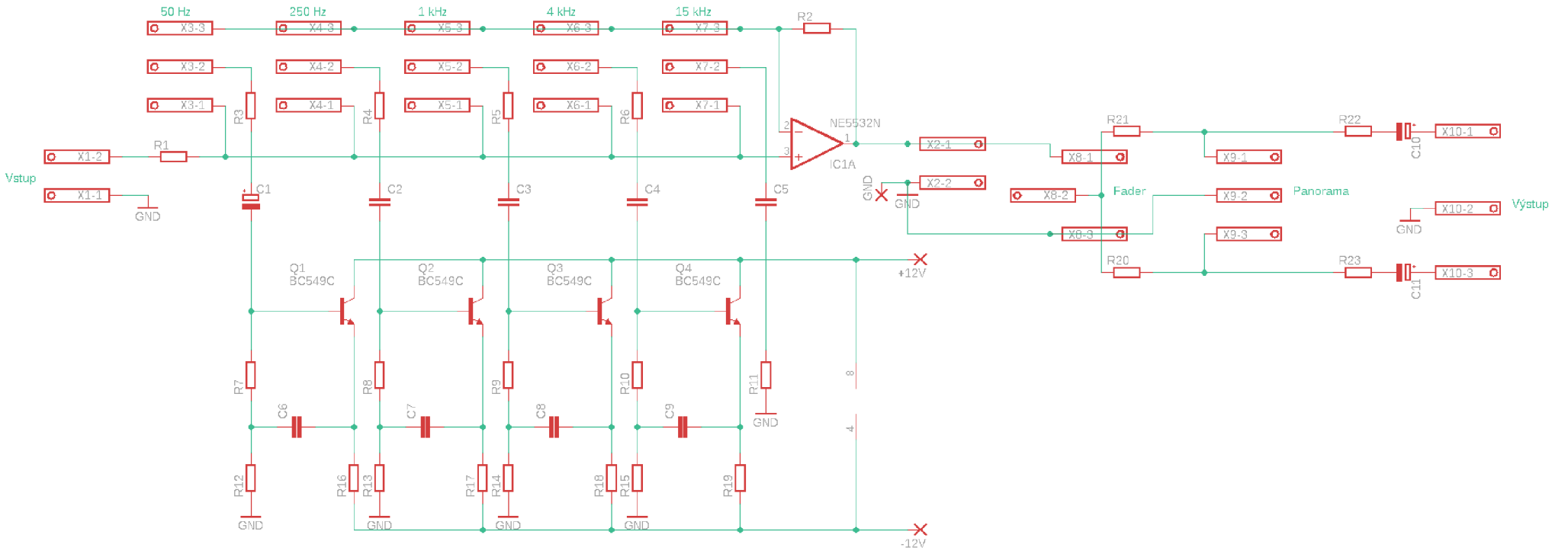


Osazená deska – spodní strana



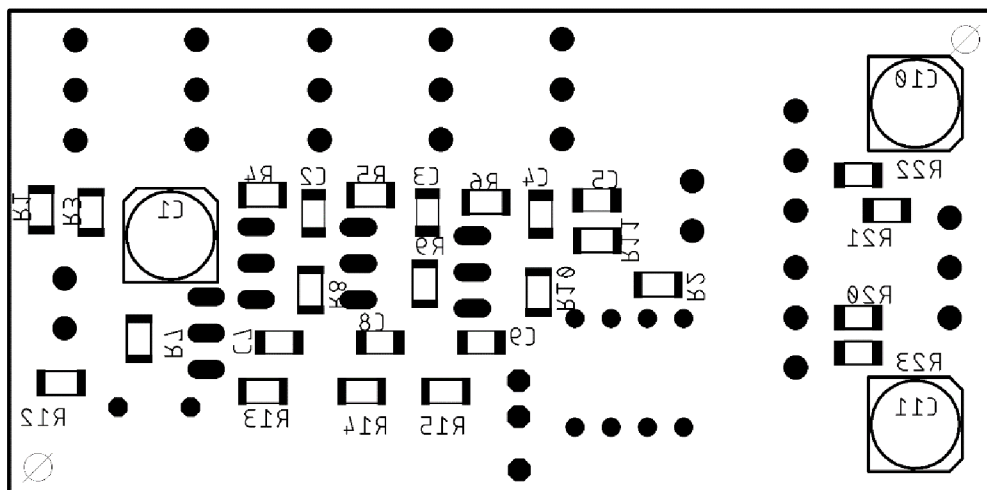
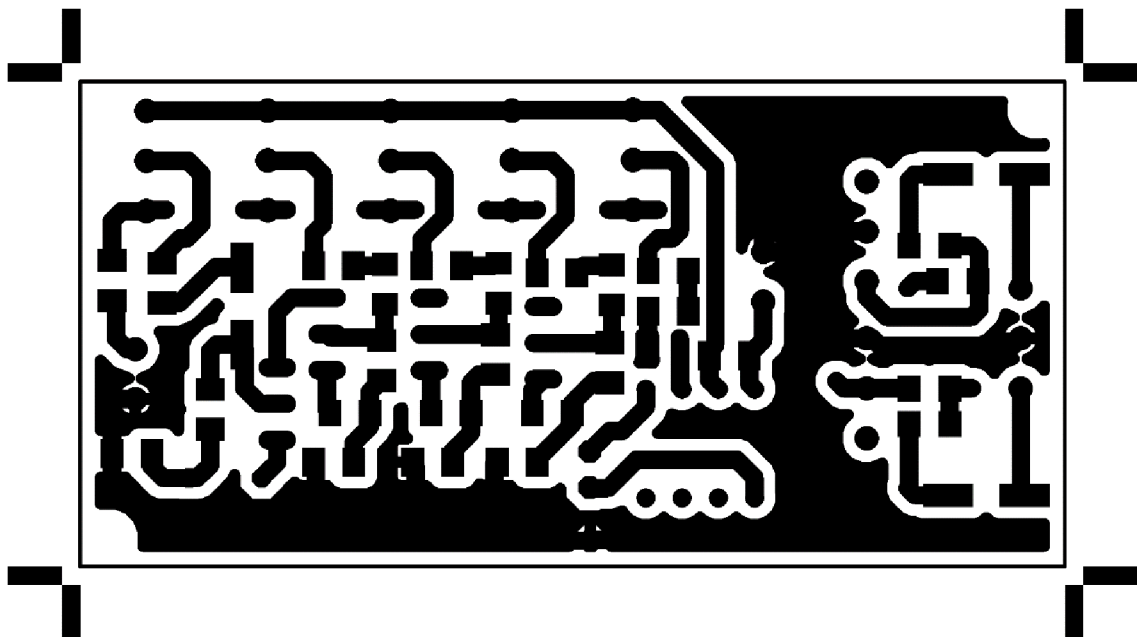
Příloha 4 – Pětipásmový ekvalizér + fader, panorama - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie

Rezistory	Hodnota	Potenciometry	Hodnota	Kondenzátory	Hodnota	Tranzistory	Typ	OZ	Typ
R1	82k	P1	50k	C1	47u	Q1	BC549C	IC1	NE5532
R2	82k	P2	50k	C2	47n	Q2	BC549C		
R3	150R	P3	50k	C3	10n	Q3	BC549C		
R4	150R	P4	50k	C4	3n9	Q4	BC549C		
R5	150R	P5	50k	C5	1n				
R6	150R	P6	100k	C6	680n				
R7	5k6	P7	22k	C7	330n				
R8	5k6			C8	68n				
R9	5k6			C9	15n				
R10	5k6			C10	10u				
R11	4k7			C11	10u				
R12	5k6								
R13	5k6								
R14	5k6								
R15	5k6								
R16	10k								
R17	10k								
R18	10k								
R19	10k								
R20	100R								
R21	100R								
R22	56k								
R23	56k								

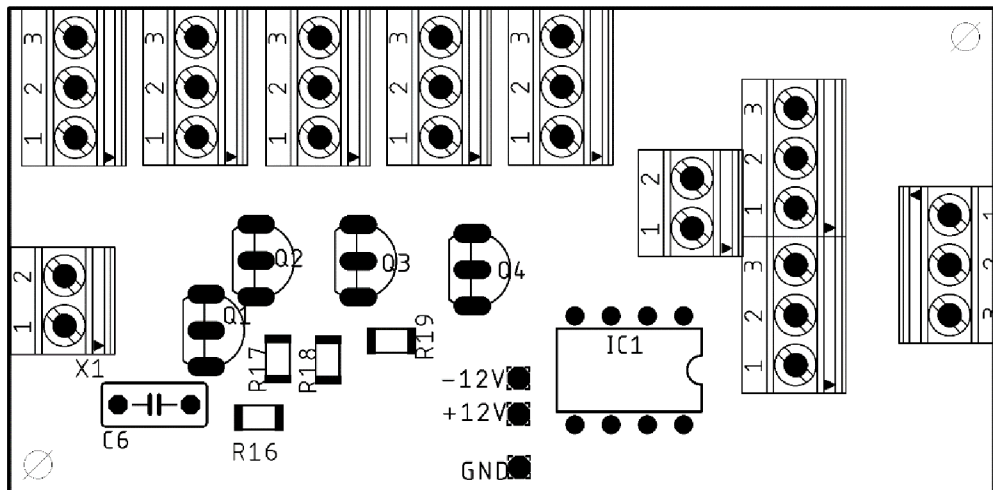
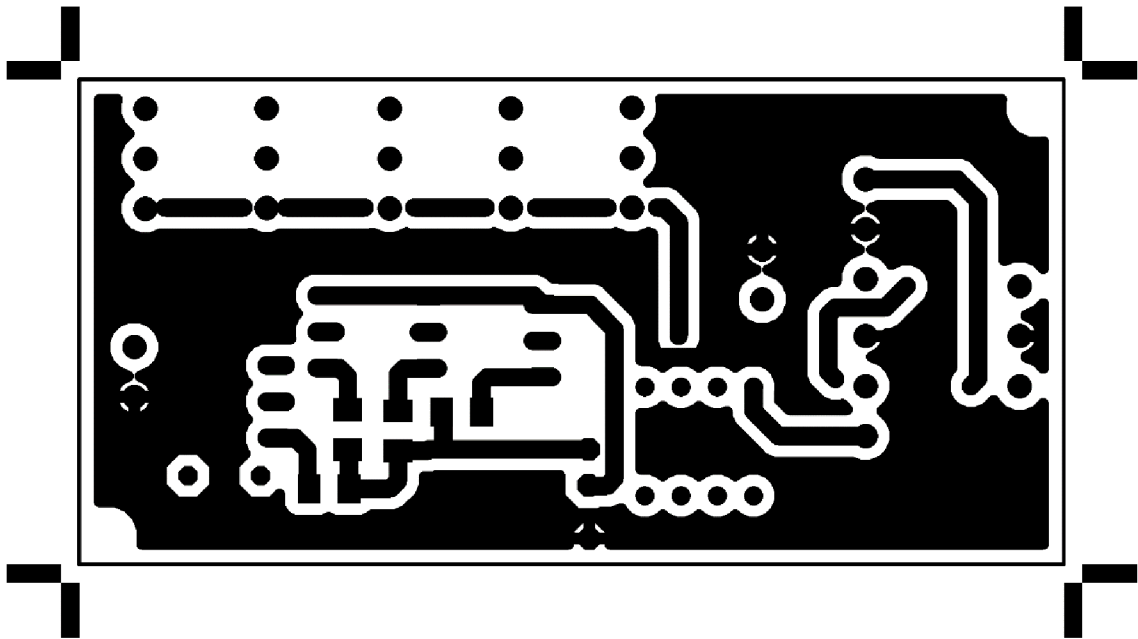


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 69x34 mm, M1:1,88

Spodní strana desky:

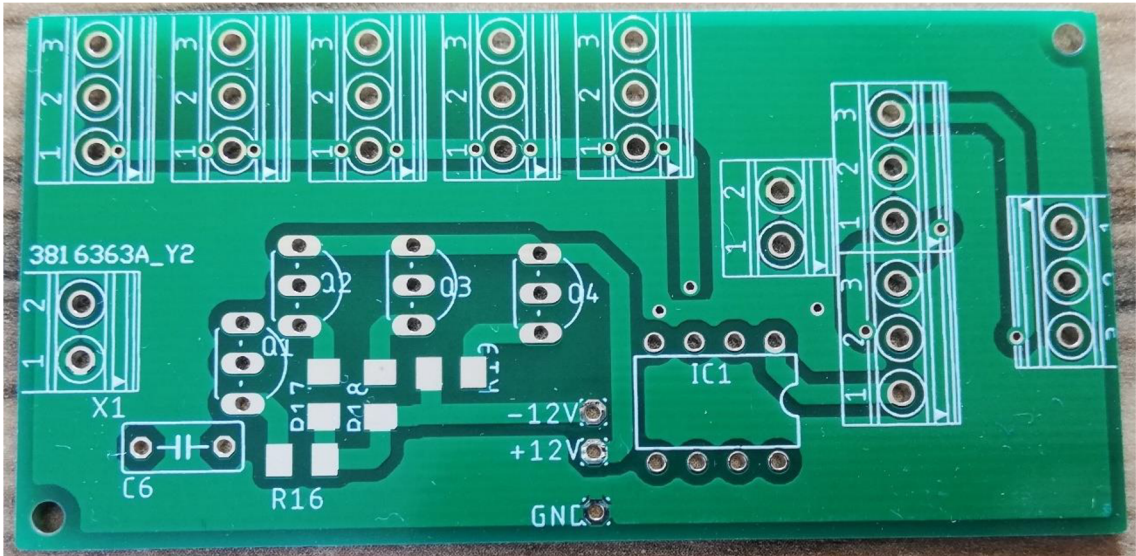


Vrchní strana desky:

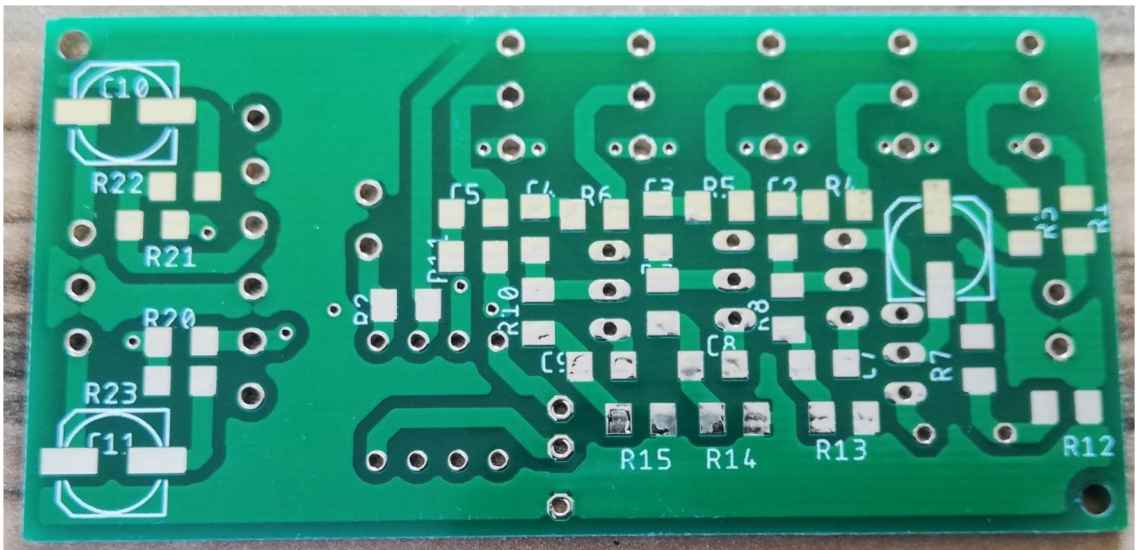


Fotografie:

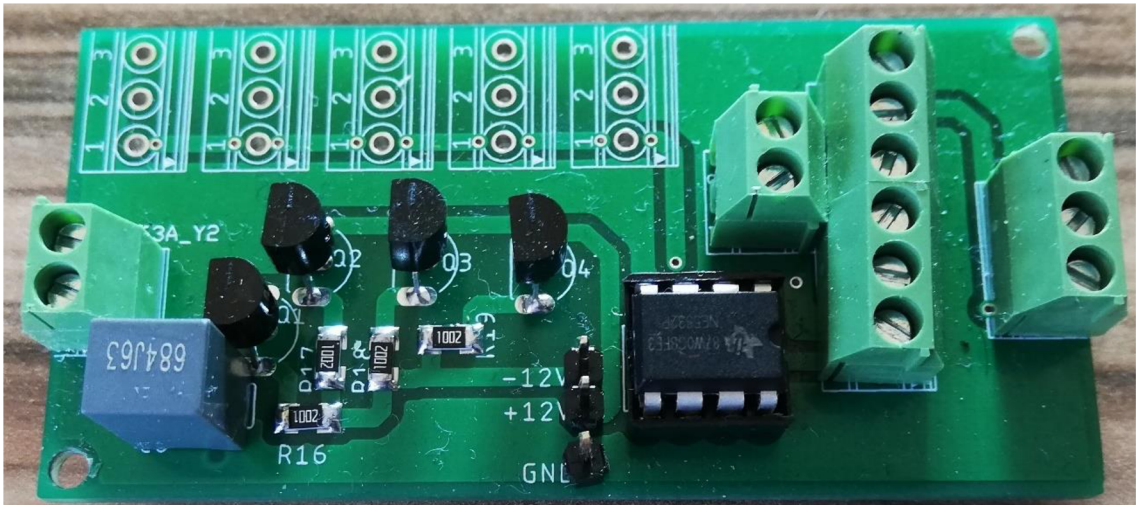
Neosazená deska – vrchní strana



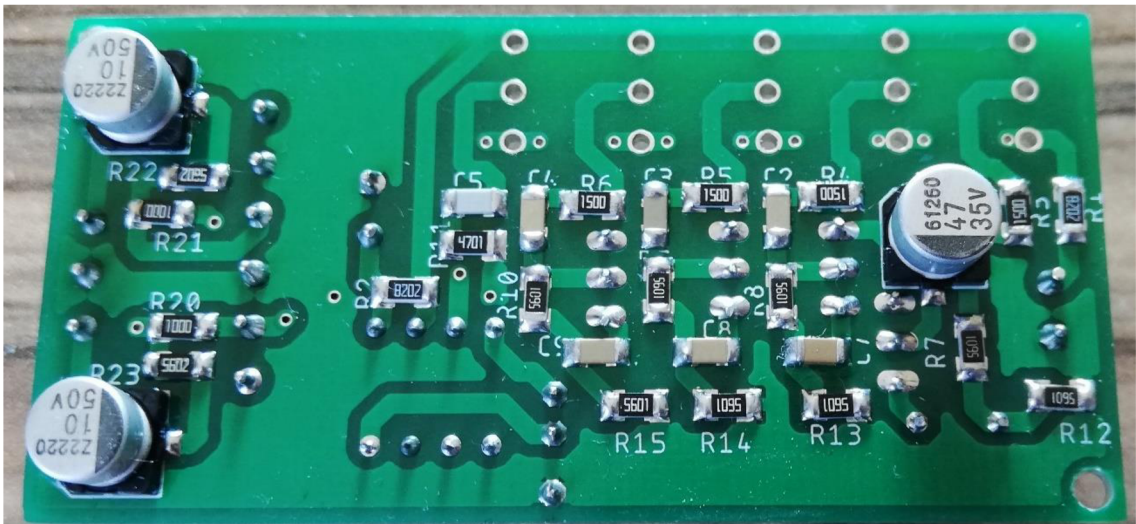
Neosazená deska – spodní strana



Osazená deska – vrchní strana

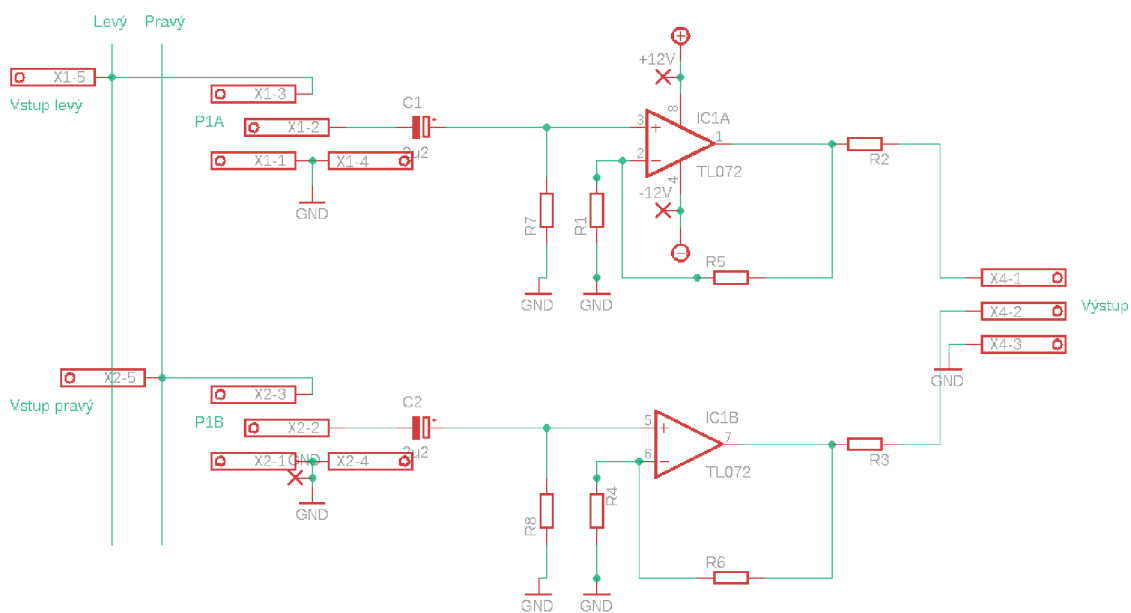


Osazená deska – spodní strana



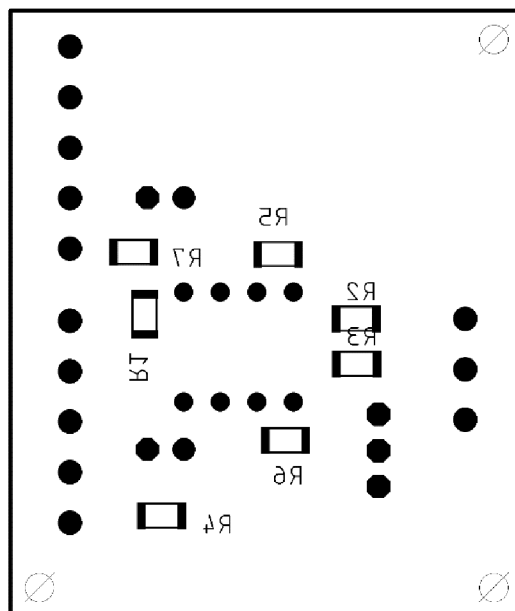
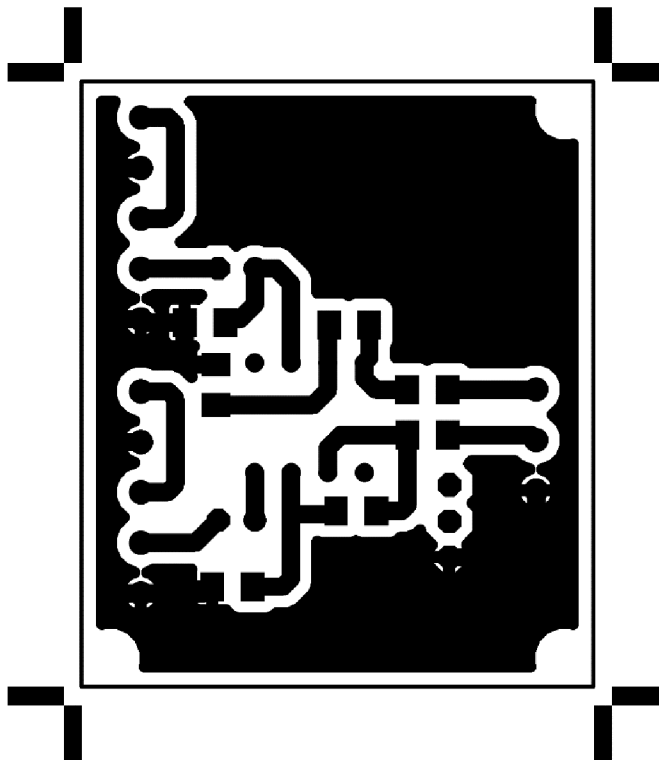
Příloha 5 – Sluchátkový zesilovač - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plány obě strany, maska obě strany, fotografie

Rezistory	Hodnota	Potenciometry	Hodnota	Kondenzátory	Hodnota	OZ	Typ
R1	4k7	P1A	10k	C1	2u2	IC1	TL072
R2	100R	P1B	10k	C2	2u2		
R3	100R						
R4	4k7						
R5	47k						
R6	47k						
R7	4k7						
R8	4k7						

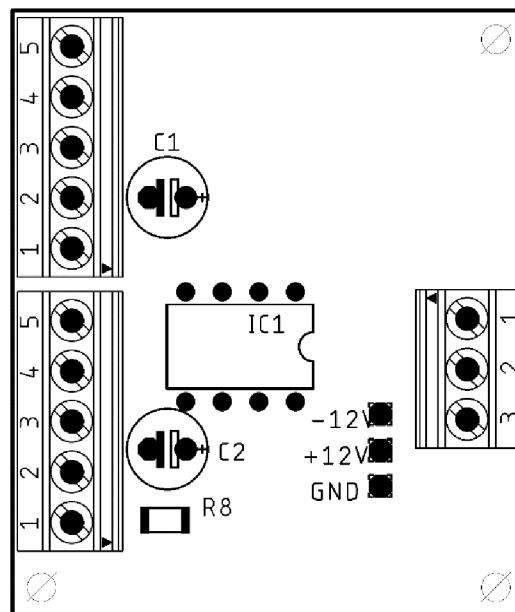
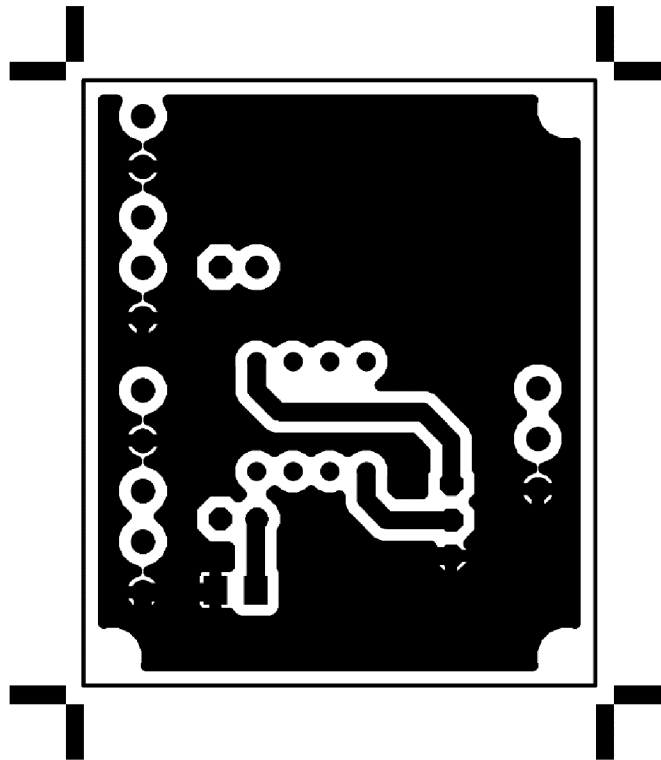


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 35,5x42 mm, M1:1,86

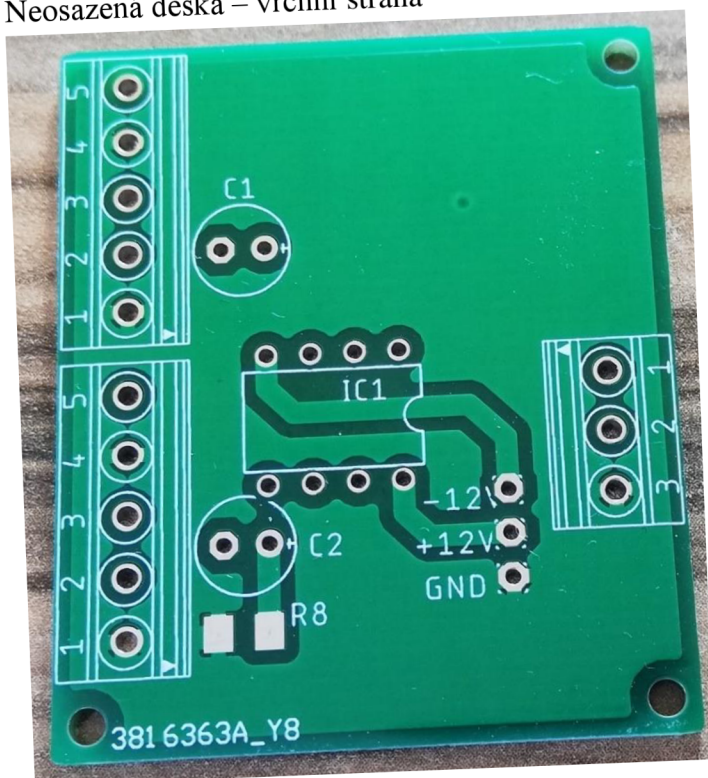
Spodní strana desky:



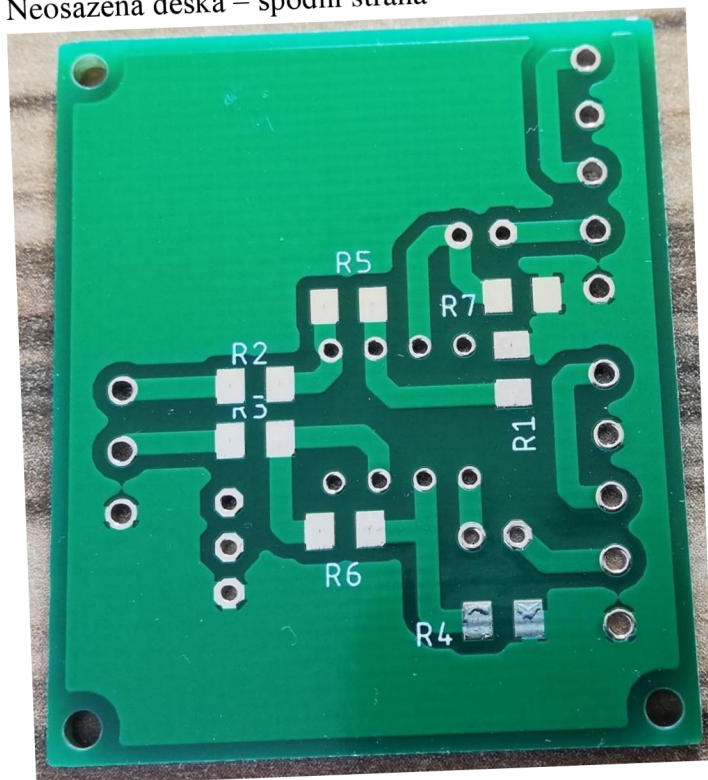
Vrchní strana desky:



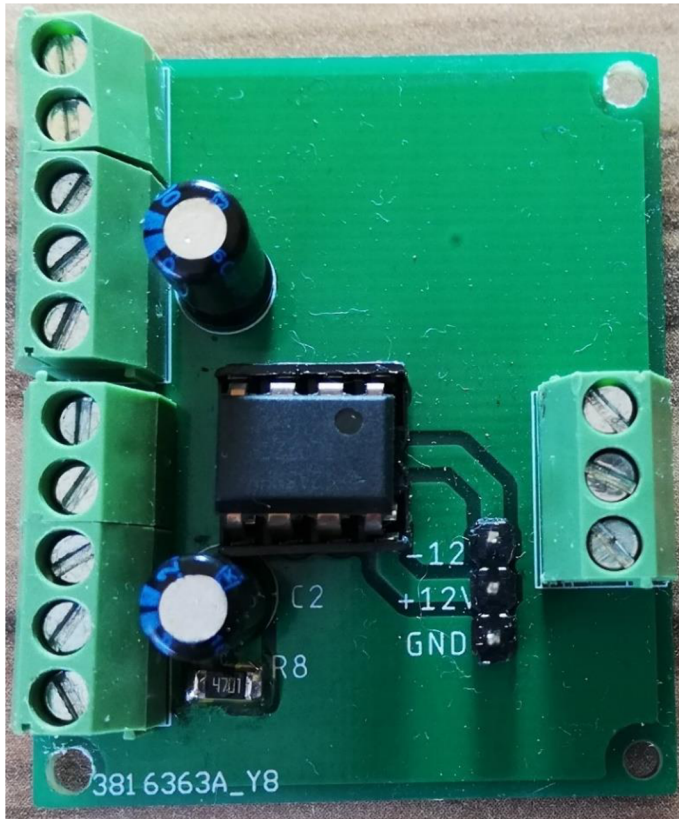
Fotografie:
Neosazená deska – vrchní strana



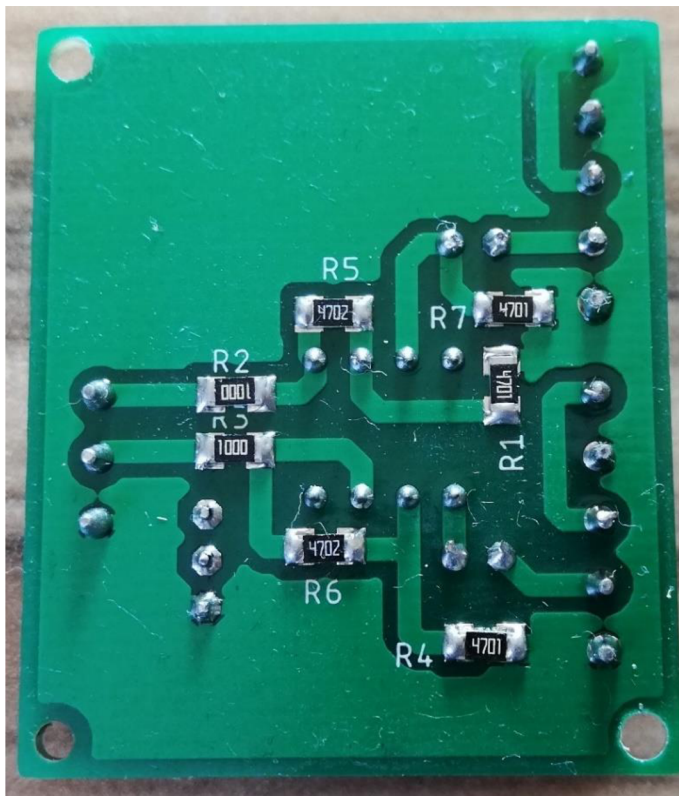
Neosazená deska – spodní strana



Osazená deska – vrchní strana

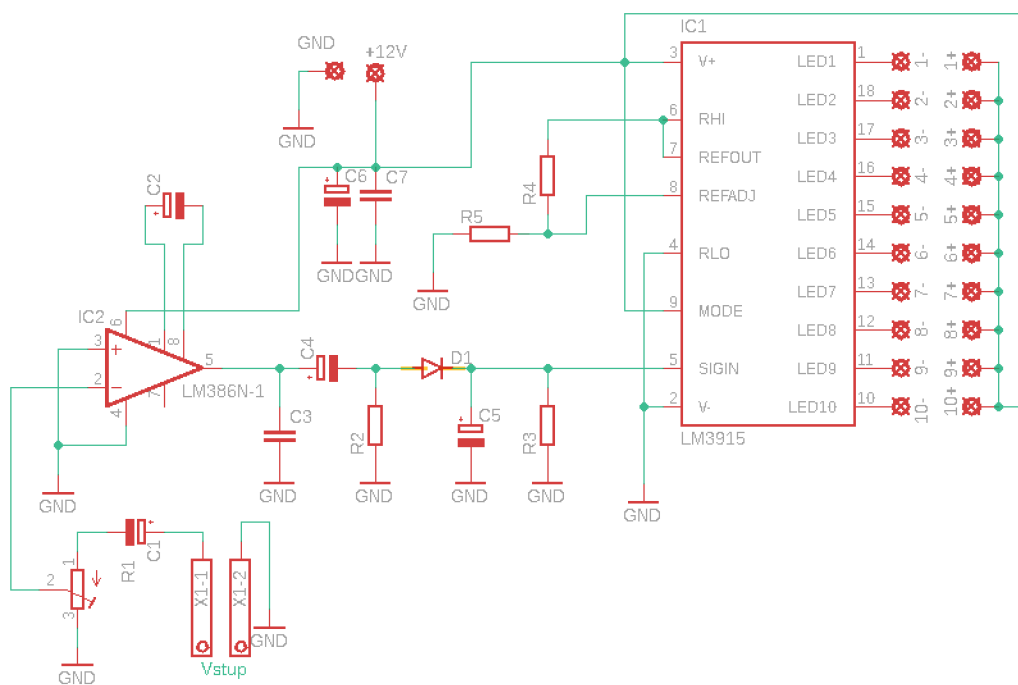


Osazená deska – spodní strana

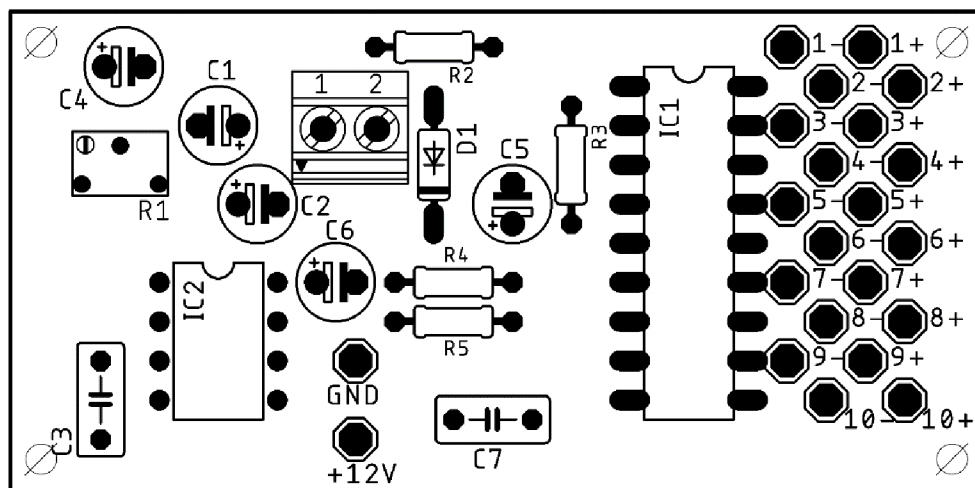
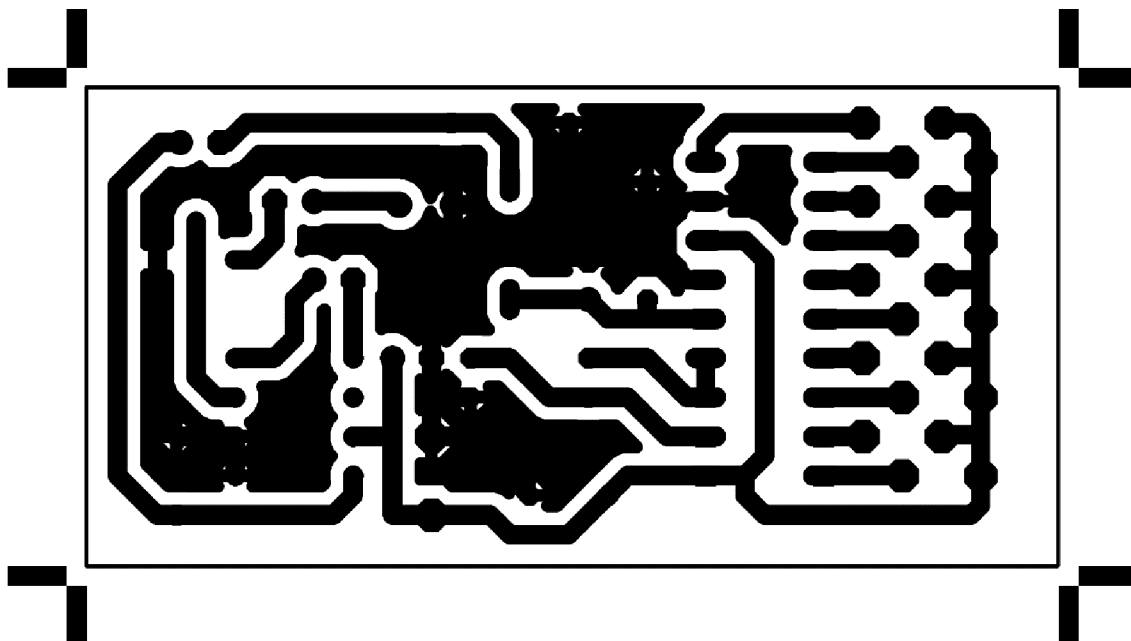


Příloha 6 – LED indikátor vybuzení - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plán, maska, fotografie

Rezistory	Hodnota	Trimry	Hodnota	Kondenzá	Hodnota	Diody	Typ	OZ	Typ
R2	2k2	R1	100k	C1	470n	D1	1N4148	IC1	LM3915
R3	1M			C2	10u			IC2	LM386
R4	2k7			C3	47n				
R5	6k8			C4	4u7				
				C5	100n				
				C6	100u				
				C7	100n				

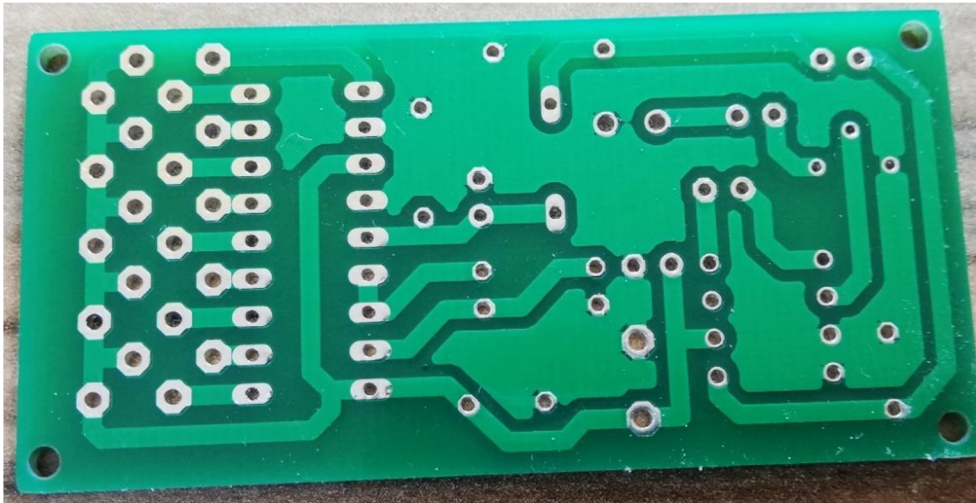


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 63x31 mm, M1:2,06

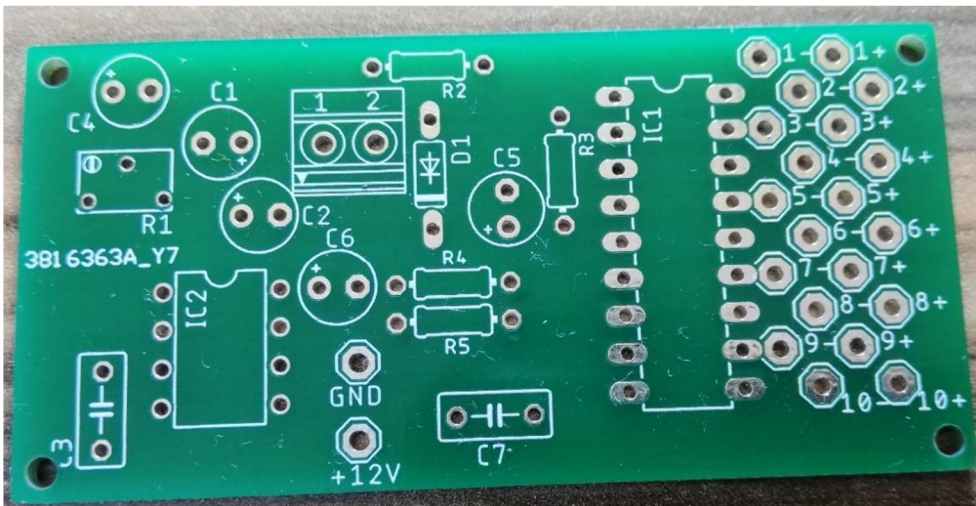


Fotografie:

Neosazená deska – spodní strana



Neosazená deska – vrchní strana

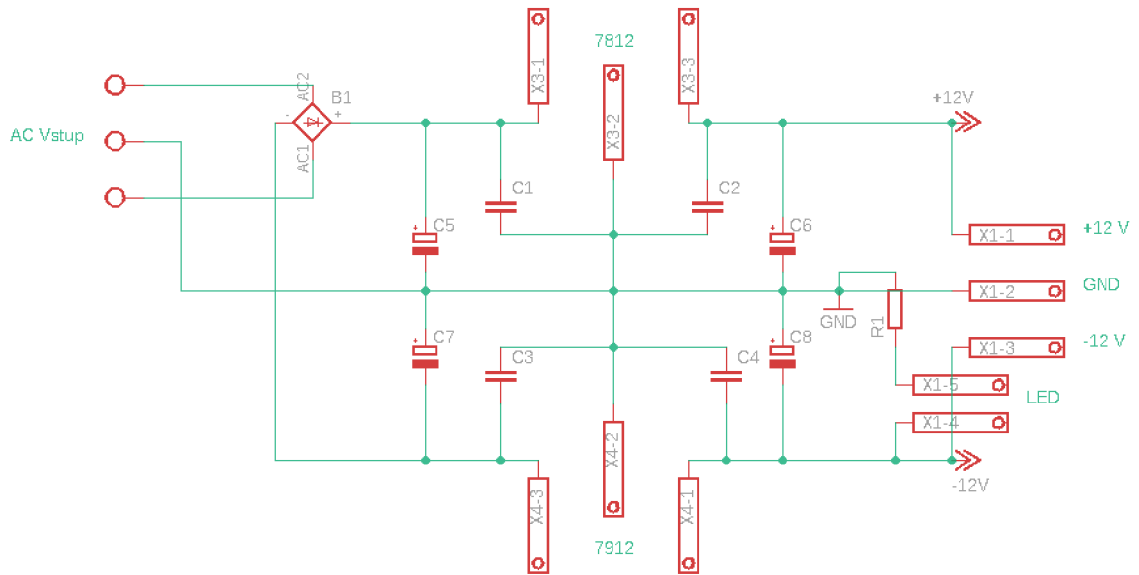


Osazená deska – vrchní strana

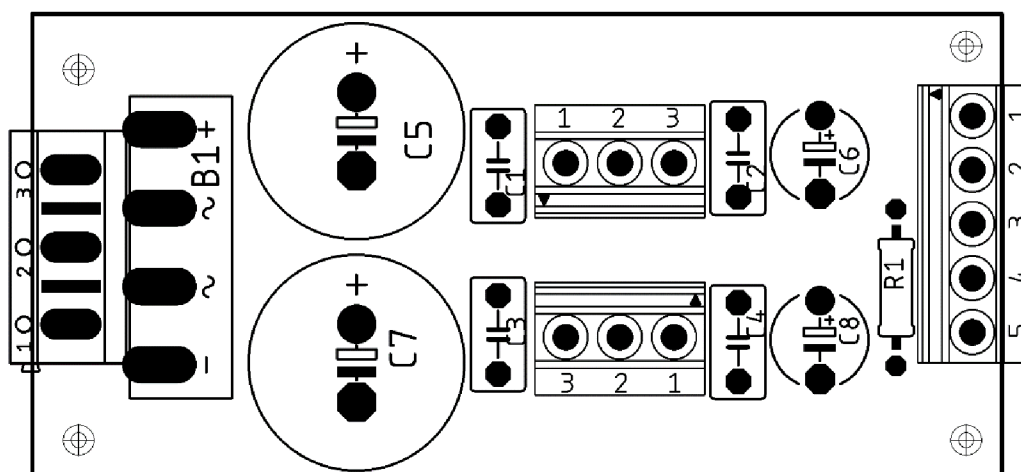
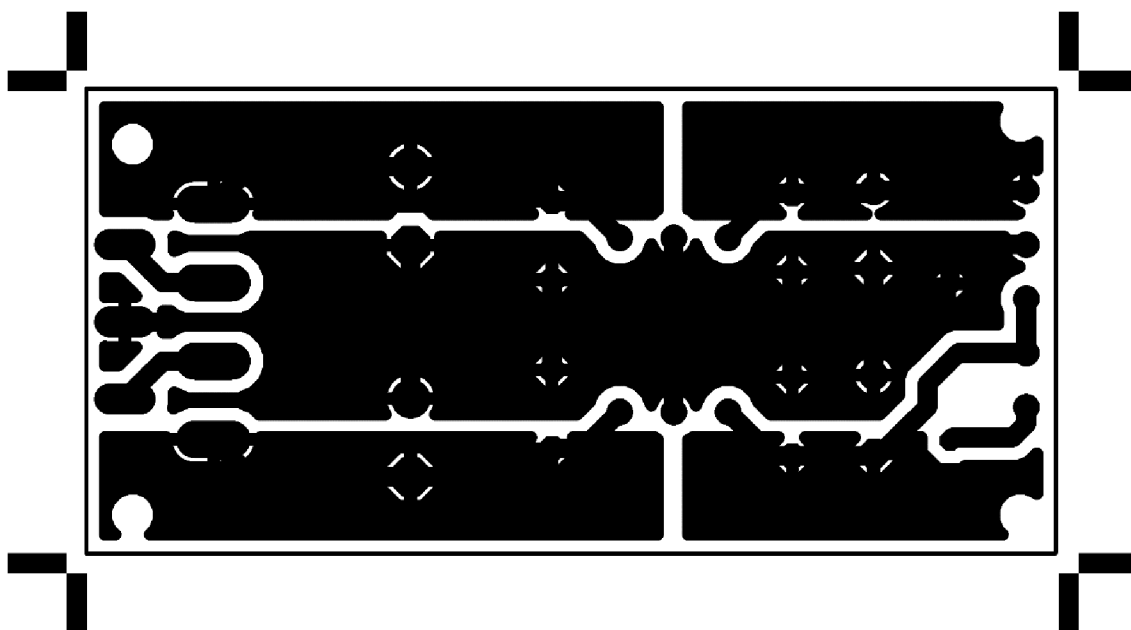


Příloha 7 – Napájecí zdroj - Rozpis součástek, schéma zapojení, osazovací plán, maska, fotografie

Rezistory	Hodnota	Kondenzátory	Hodnota	Stabilizátory	Typ	Diody	Typ	Usměrňovač	Typ
R1	2k2	C1	100n	IC1	7812	LED	Zelená	B1	KBU1010
		C2	100n	IC2	7912				
		C3	100n						
		C4	100n						
		C5	2200u						
		C6	100u						
		C7	2200u						
		C8	100u						

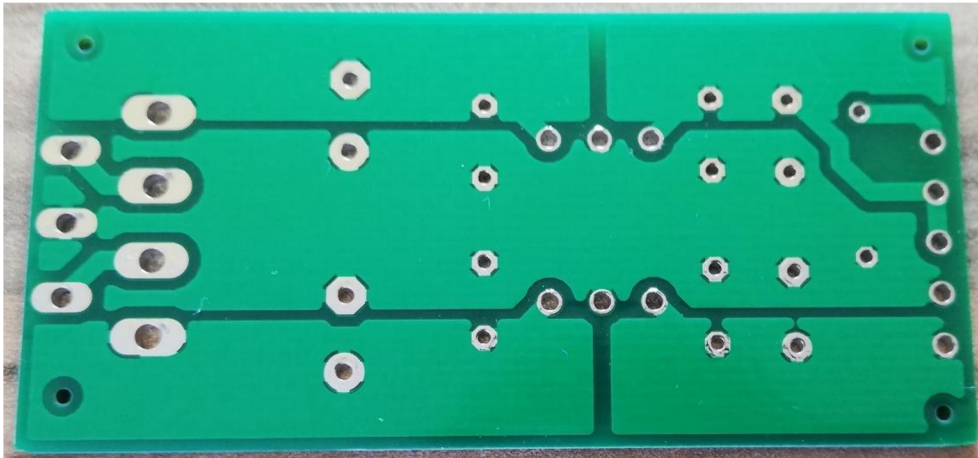


Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 63x30 mm, M1:2

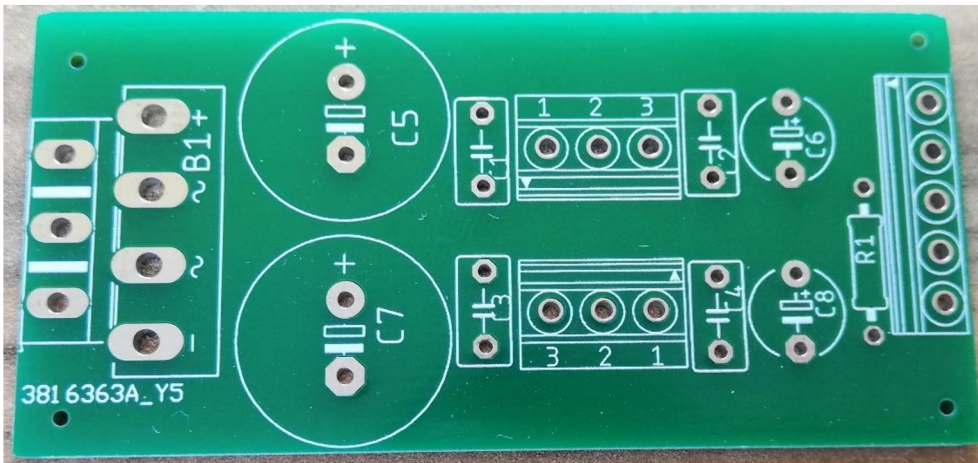


Fotografie:

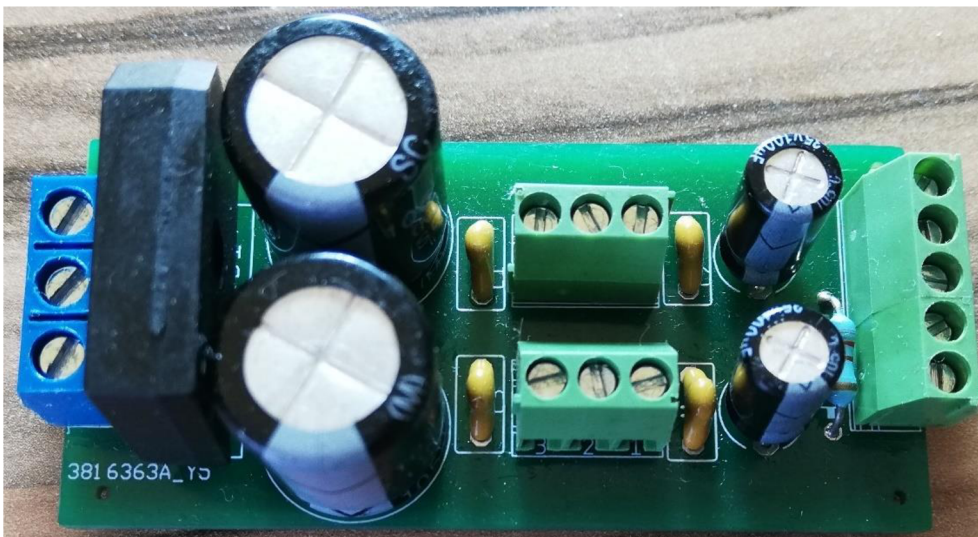
Neosazená deska – spodní strana



Neosazená deska – vrchní strana

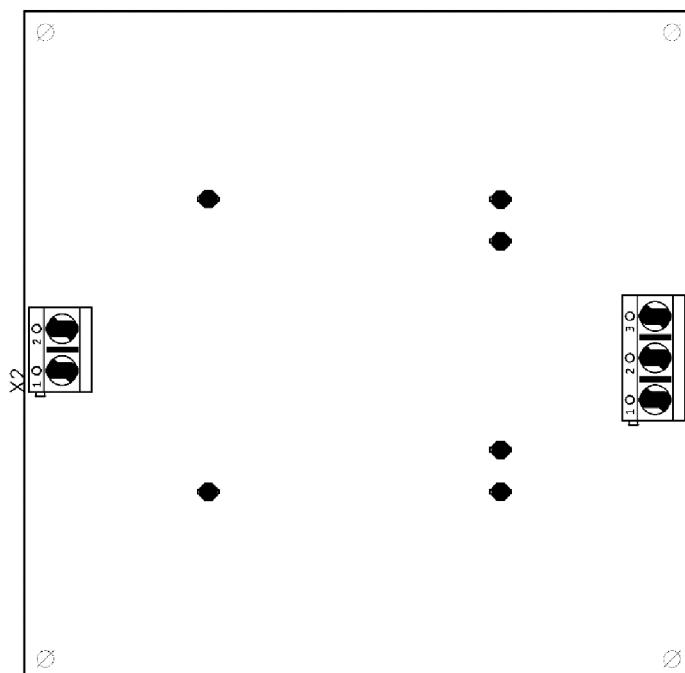
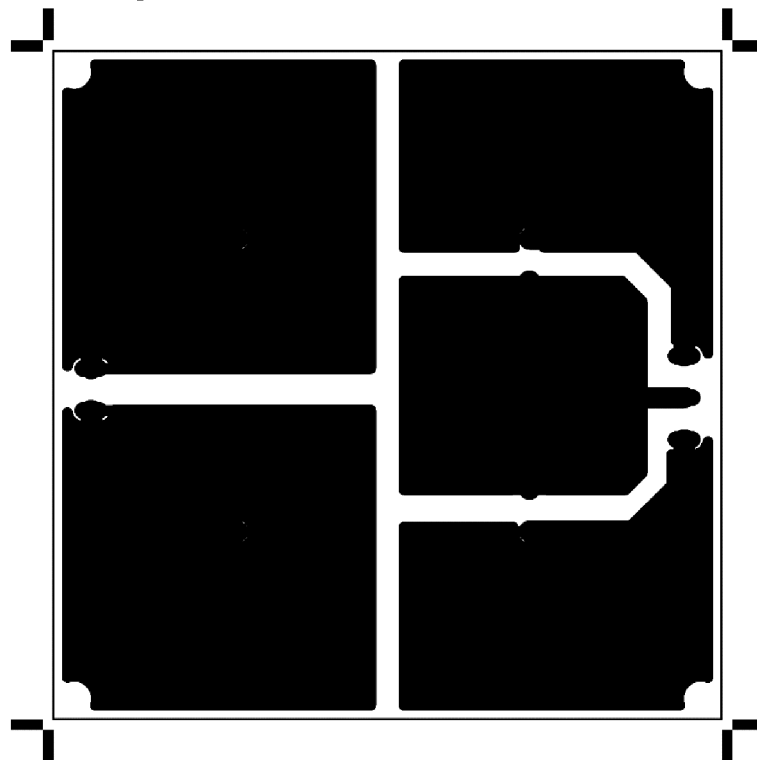


Osazená deska – vrchní strana



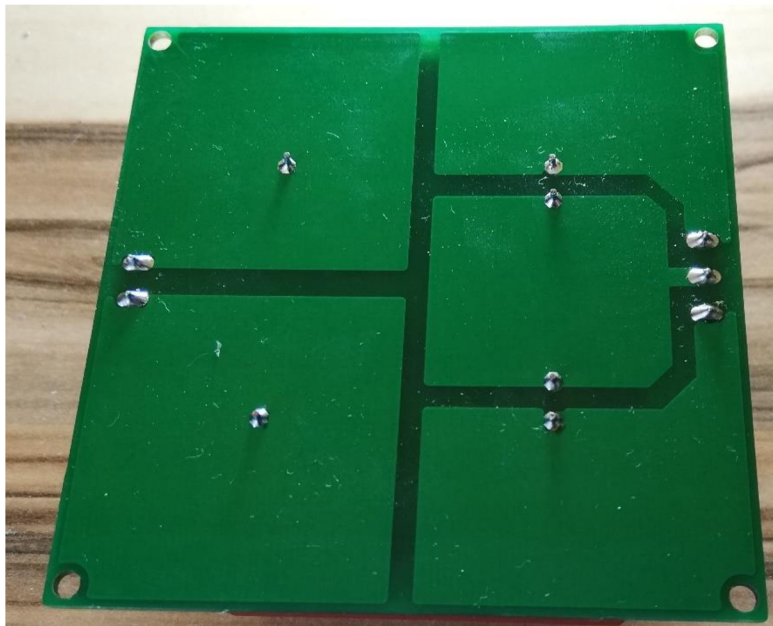
Příloha 8 – Deska transformátoru – maska, fotografie

Návrh DPS + osazovací plán – rozměr 80x80 mm, M1:1,125



Fotografie:

Osazená deska – spodní strana



Osazená deska – vrchní strana



Příloha 9 – Fotografie rozložení desek plošných spojů v krabici

