

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
Katedra materiálů a technologií

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh a konstrukce elektronového mikrofonního  
předzesilovače**

**Vypracoval: Daniel Pešek**

**2022**

**Vedoucí: Ing. Stanislav Bouzek**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Daniel PEŠEK**  
Osobní číslo: **E19B0023P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Návrh a konstrukce elektronického mikrofonního předzesilovače**  
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

### Zásady pro vypracování

1. Prostudujte možnosti obvodového řešení elektronického mikrofonního předzesilovače studiové kvality.
2. Navrhněte základní obvod předzesilovače.
3. Předzesilovač realizujte a měřením ověřte jeho parametry. Výsledky porovnejte s komerčními výrobky.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

### Seznam doporučené literatury:

- LUKES, Jaroslav. Věrný zvuk. Praha: SNTL, 1962. ISBN 80-01-01150-X.
- VLACH, Jaroslav. Lampárna aneb Co to zkusit s elektronkami? Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-091-1.
- FRED, Rosebury. Handbook of Electron Tube and Vacuum Techniques. Berlin: Springer, 1992. ISBN: 1563961210.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Bouzek**  
Research and Innovation Centre for Electrical  
Engineering

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
  
**Prof. Ing. Václav Kús, CSc.**  
vedoucí katedry

V Plzni dne 8. října 2021

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí elektronového mikrofonního předzesilovače. Teoretická část práce obsahuje uvedení do problematiky mikrofonů a předzesilovačů, jsou zde stanoveny požadavky na funkce a provedení prototypu předzesilovače a jsou zde také rozvedeny jednotlivé problémy s tím spojené. Druhá část práce se zabývá konstrukcí zařízení a ověřením jeho parametrů.

## **Klíčová slova**

Elektronkový mikrofonní předzesilovač, trioda, frekvenční korekce, mikrofon, předzesilovač.

## **Abstrakt**

This bachelor thesis deals with the design and construction of a tube microphone preamplifier. The theoretical part of the thesis contains an introduction to microphones and preamplifiers, the requirements for the functions and design of the prototype preamplifier are set out and the various problems associated with it are also addressed. The second part of the thesis focuses on the design of the device and verification of its parameters.

## **Klíčová slova**

Tube microphone preamplifier, triode, frequency correction, microphone, preamplifier.

## Seznam symbolů a zkratek

RC	Dvojbran tvořený kondenzátorem a rezistorem.	
12ax7/12ay7	Americké označení dvoutriodové elektronky	
ECCxx	Evropské označení dvoutriodové elektronky	
GAIN	Ovladač zesílení vstupní části obvodu	
LEVEL	Ovladač úrovně výstupního signálu	
E12	Předdefinované ustálené řady čísel používaných pro hodnoty elektrotechnických součástek.	
V1, V2	Označení dvojitych triod.	
OUT	Výstup předzesilovače	
IN	Vstup předzesilovače	
SNR	Signal to noise ratio. Poměr signálu a šumu.	
THD	Total harmonic distortion. Udává harmonické zkreslení sinusového signálu.	
THD+N	Total Harmonic Distortion Plus Noise.	
HF	Dolní propust	
LF	Horní propust	
S	Strmost	mA/V
$R_p$	Pracovní odpor elektronky	$\Omega$
$f_m$	Mezní frekvence, na které dojde k útlumu o 3 dB.	Hz
$R_i$	Vnitřní odpor elektronky	$\Omega$
$A_u, \mu$	Napět'ové zesílení	-
$U_g$	Napětí na mřížce elektronky	V
$U_a$	Napětí na anodě elektronky	V
$U_n$	Napájecí napětí	V
$I_a$	Anodový proud procházející elektronkou	mA
$I_{a \max}$	Maximální anodový proud elektronky	mA
$R_k$	Rezistor zapojený mezi katodou a zemí.	$\Omega$

## Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Mikrofon.....	- 2 -
1.1 Dynamický mikrofon .....	- 2 -
1.1.1 Mikrofon s pohyblivou cívkou .....	- 2 -
1.1.2 Páskový mikrofon .....	- 3 -
1.2 Kondenzátorový mikrofon .....	- 4 -
2 Předzesilovač .....	- 6 -
3 Návrh zařízení.....	- 7 -
3.1 Požadavky na funkce předzesilovače .....	- 7 -
3.2 Frekvenční korekce .....	- 8 -
3.3 Fantomové napájení .....	- 8 -
3.4 Návrh obvodu předzesilovače .....	- 9 -
3.5 Blokové schéma předzesilovače.....	- 9 -
3.6 Zapojení triody se společnou katodou.....	- 10 -
3.7 Vazební kondenzátor .....	- 13 -
3.8 Frekvenční korekce .....	- 13 -
3.9 Návrh napájecího zdroje.....	- 13 -
3.9.1 Část nízkého napětí .....	- 13 -
3.9.2 Část vysokého napětí .....	- 15 -
4 Konstrukce.....	- 16 -
4.1 Geometrické uspořádání.....	- 16 -
4.2 Chlazení zařízení .....	- 17 -
4.3 Zemnění.....	- 18 -
4.4 Výběr součástek .....	- 18 -
5 Ověření parametrů předzesilovače .....	- 20 -
Závěr .....	- 26 -
Seznam obrázků.....	- 27 -
Literatura.....	- 28 -
Příloha A .....	I
Příloha B .....	III

Příloha C .....	IV
Příloha D .....	V



## Úvod

Tato práce se zabývá problematikou návrhu a konstrukce elektronkového mikrofonního předzesilovače. Předzesilovač je v tomto případě zařízení pro zpracování audio signálu, sloužící především k zesílení a přizpůsobení výstupu z mikrofonu na úroveň vhodnější pro další části zvukového řetězce. Kromě toho může také obsahovat další obvody, umožňující například frekvenční nebo dynamické změny přenášeného signálu.

I přes technologický pokrok a nástup polovodičových aktivních prvků mají dodnes elektronková zařízení v audiotechnice své místo. Elektronky najdeme hlavně v kytarových zesilovačích a studiové technice, ale také v HIFI poslechové technice. Důvody nejsou vždy pouze nostalgické. Elektronky totiž mají charakteristický zvukový projev daný chováním při přebuzení silnějším vstupním signálem. Při přebuzení elektronkového stupně převažují sudé harmonické složky a výsledný zvuk je pro lidské ucho výrazně příjemnější než s větším množstvím lichých harmonických, které při přebuzení produkují polovodičové aktivní prvky. U elektronkových zařízení je tak vlastně vyžadováno jisté zkreslení přenášeného signálu, které lze při zpracování zvuku kreativně využít. Nutno přiznat, že polovodičová zařízení dosahují lepších technických parametrů, ať už se jedná o vyrovnanost frekvenční charakteristiky, THD, SNR, ale také mají menší spotřebu a nejsou tak mechanicky náchylné. I přes řadu nevýhod ale stále v nahrávacích studiích najdeme elektronkové mikrofonní a korekční předzesilovače, které jsou často doplněny o další obvody pro zpracování zvuku (např. dynamické kompresory, frekvenční korektory).

V úvodu práce je nejprve popsáno několik konstrukcí a principů mikrofonů, na jejichž základě jsou stanoveny požadavky na funkce předzesilovače. Návrh a konstrukce elektronkového zařízení mají jistá specifika, související s použitím elektronek. Například je nutné samostatně řešit vysokonapěťovou část zdroje anodového napětí a nízkonapěťovou část pro žhavení elektronek. Také je důležité rozmístění jednotlivých bloků obvodu uvnitř šasi z hlediska rušení signálové části obvodu. Výsledkem práce by měl být prototyp předzesilovače studiových parametrů, doplněný o základní frekvenční korektory.

# 1 Mikrofon

Mikrofon je zařízení, které převádí zvukové vibrace vzduchu na elektrický signál a přenáší je dále na záznamové médium nebo po zesílení přímo do ozvučovacího systému. Mikrofony existují v řadě provedení, která jsou vhodná pro různé aplikace, například miniaturní mikrofony v telefonech, mikrofony pro nahrávání lidského hlasu, nástrojů a dalších zvuků a ruchů nebo kvalitní mikrofony pro měřicí účely.

Protože výstupní signál mikrofونů je velmi malý, před nahráváním nebo reprodukcí signálu je nutné mikrofony připojit k předzesilovači, který signál zesílí na požadovanou úroveň.

Dnes se používá několik typů mikrofونů, které využívají různé metody převodu změny tlaku vzduchu na elektrický signál. Mezi nejběžnější patří dynamický, kondenzátorový nebo například kontaktní mikrofon.

## 1.1 Dynamický mikrofon

Pojem "dynamický" může mít mnoho významů, zejména pokud jde o zvuk a hudbu. V tomto případě však nemá nic společného s "dynamickým rozsahem" nebo "dynamickým výkonem". V tomto kontextu se vztahuje k fyzikálnímu principu, na kterém je mikrofon konstruován. Jedná se o tzv. elektrodynamický systém, kdy se do elektrického vodiče, který se pohybuje v magnetickém poli, indukuje elektrické napětí.

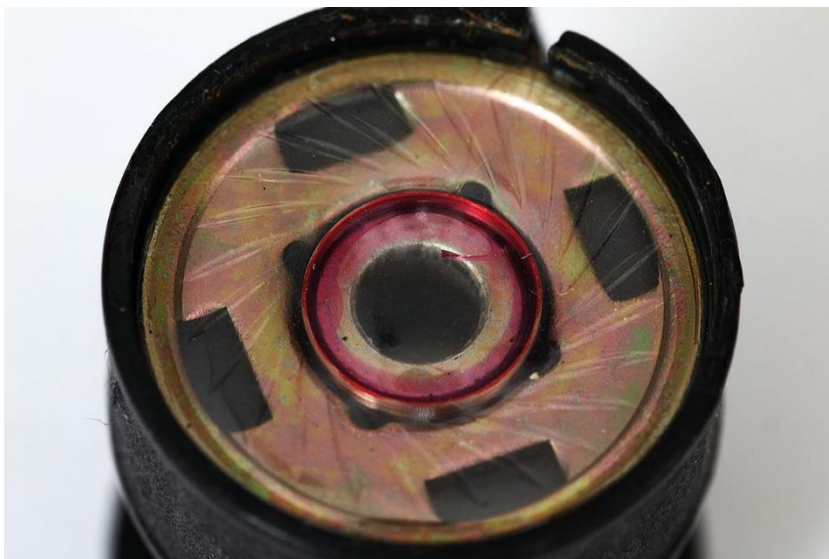
Dynamické mikrofony jsou tedy mikrofony, které využívají elektromagnetismus k přeměně zvuku na elektrický signál. Rozdělují se do dvou kategorií: mikrofony s pohyblivou cívkou a páskové mikrofony.

### 1.1.1 Mikrofon s pohyblivou cívkou

Mikrofon s pohyblivou cívkou je v podstatě konstruován jako elektrodynamický reproduktor. Na zadní straně membrány je připevněna cívka, kterou těsně obklopuje silný magnet. Když na membránu mikrofону dopadají zvukové vlny, membrána se pohybuje v jejich rytmu a cívka na její zadní straně se pohybuje spolu s ní. Relativní pohyb cívkou v magnetické mezeře indukuje v této cívce malé signálové napětí.

Mikrofonům s pohyblivou cívkou se často dává přednost pro použití na pódiu, protože jsou poměrně robustní, dokáží snímat vysoké hladiny akustického tlaku a nevyžadují externí napájení. Ve studiu dávají technici obvykle přednost kondenzátorovým nebo v některých

případech páskovým mikrofonům, které jsou méně robustní, ale nabízejí v určitých případech lepší reprodukci zvuku.



*Obrázek 1 Mikrofonní kapsle s pohyblivou cívkou [4]*

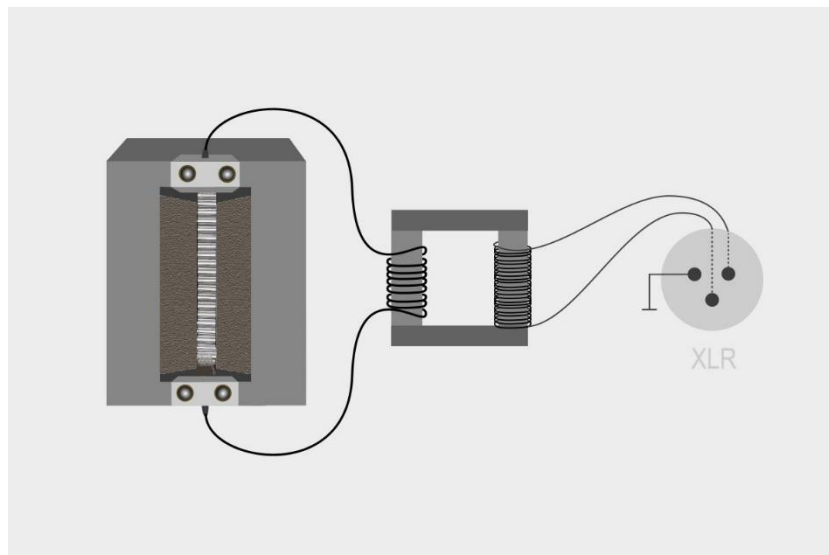
### **1.1.2 Páskový mikrofon**

Páskový mikrofon funguje na stejném základním principu elektromagnetické indukce jako mikrofony s pohyblivou cívkou. Místo membrány a cívky ovšem páskový snímač používá úzký proužek extrémně tenké hliníkové fólie. Jinými slovy, samotná membrána je elektrickým vodičem, který se pohybuje uvnitř magnetické mezery. Takový tenký kousek hliníkové pásky je mnohem lehčí než membrána s připojenou cívkou z měděného drátu. Páskový převodník je proto schopen sledovat pohyby zvukových vln přesněji než kapsle s pohyblivou cívkou.

Díky tomu, že uvnitř magnetické mezery je pouze jeden vodič namísto celé cívky drátu, tak tento typ mikrofonu produkuje mnohem nižší výkon. Páskové mikrofony proto obsahují step-up transformátor, který násobí výstupní napětí snímače přibližně 30krát. I tak mají páskové mikrofony obvykle nižší citlivost (tj. nižší výstupní úroveň při dané hladině akustického tlaku) než mikrofon s pohyblivou cívkou. Páskový mikrofon proto vyžaduje předzesilovač s velmi nízkým šumem a velkým zesílením.

Páskové mikrofony jsou ze své prostorově dvojsměrné, tj. jsou stejně citlivé na zvuk přicházející zepředu i na zvuk přicházející zezadu. Zvukové vlny přicházející ze stran však páskový mikrofon neuvádějí do pohybu.

Díky své konstrukci jsou páskové mikrofony velmi křehké a musí se s nimi zacházet velmi opatrně. Další nevýhodou je, že jejich frekvenční rozsah na vysokých frekvencích je poměrně omezený. Dnes se páskové mikrofony používají pouze pro speciální aplikace, kde nevádí nižší citlivost na vysokých frekvencích (např. kytarové kabinety) nebo kde je to naopak žádoucí (např. snímání příliš jasných žesťových nástrojů).



Obrázek 2 Konstrukce páskového mikrofonu [4]

## 1.2 Kondenzátorový mikrofon

Kondenzátorová kapsle se skládá z tenké membrány v těsné blízkosti pevné kovové desky. Membrána musí být elektricky vodivá, alespoň na svém povrchu. Nejběžnějším materiálem je mylar se zlatým nástřikem, ale některé (většinou starší) modely používají extrémně tenkou kovovou fólii.

Když zvukové vlny dopadají na membránu, tak se pohybuje tam a zpět směrem k pevné zadní desce. Jinými slovy, vzdálenost mezi oběma deskami (elektrodami) se mění a výsledkem je kondenzátor s kapacitou závislou na dopadajícím zvuku. Aby bylo možné získat výstupní elektrický signál, potřebují kondenzátorové mikrofony externí napájení. Pro účinný signálový přenos je nutné impedanční přizpůsobení. Napájení mikrofonu se řeší tzv. fantomovým napájením, nejčastěji o velikosti 48 V.

Membrána kondenzátorového mikrofonu může díky své extrémně nízké hmotnosti sledovat pohyb zvukové vlny přesněji než membrána dynamického mikrofonu s (relativně) těžkou pohyblivou cívkou. Kondenzátorové mikrofony proto nabízejí vynikající kvalitu zvuku. Ze všech typů mikrofonů mají kondenzátorové mikrofony nejširší frekvenční odezvu a nejlepší přechodovou charakteristiku. Kondenzátorové mikrofony také obvykle nabízejí mnohem vyšší citlivost a nižší šum než dynamické mikrofony.



*Obrázek 3 Kondenzátorová mikrofonní kapsle se zlatem naprášenou mylarovou membránou. [5]*

## 2 Předzesilovač

Účelem předzesilovače je zesílit nízkourovňové signály na linkovou úroveň, tj. na "standardní" provozní úroveň nahrávacího zařízení. Dalšími funkcemi předzesilovače mohou být například frekvenční korekce nebo otočení fáze signálu.

Mikrofonní signály jsou obvykle výrazně pod nominální provozní úrovní, takže je zapotřebí velkého zesílení, obvykle 30-60 dB dle použitého typu mikrofону a intenzity snímaného zvuku. Mikrofony pro snímání zvuku kytarových a baskytarových aparátů nebo bicích nástrojů nevyžadují tak velké zesílení, často postačují hodnoty do 30 dB. Hlavní funkcí předzesilovače je co nejčistěji zesílit vstupní signál na požadovanou linkovou úroveň. Ideálně s co nejnižším šumem a bez dalšího zkreslení signálu (frekvenční a dynamické změny).

Mezi velmi oblíbené předzesilovače patří například samostatný předzesilovač Universal Audio 610, dvoukanálový Art ProMPA II nebo kombinace předzesilovač a dynamického kompresoru Universal Audio 6176 a Warm Audio WA-2A. Za zmínku jistě stojí i předzesilovač KARLIK TP-1 od českého výrobce a zvukového inženýra Pavla Karlíka.

## 3 Návrh zařízení

### 3.1 Požadavky na funkce předzesilovače

Pro samotný návrh obvodu předzesilovače je důležité nejprve stanovit několik technických parametrů. Jeden z nejdůležitějších parametrů pro nezkreslený přenos signálu z mikrofonu je frekvenční rozsah, ten se pro kondenzátorové mikrofony pohybuje v rozmezí 20 Hz až 20 kHz a pro dynamické mikrofony většinou v rozmezí 50 Hz až 15 kHz. Pokud by se jednalo pouze o snímání lidského hlasu, může být frekvenční rozsah z obou stran přenášeného pásma menší. Předzesilovač by měl mít v tomto přenášeném pásmu konstantní zesílení.

Dalším důležitým parametrem, který je nutné při návrhu předzesilovače uvažovat, je výstupní impedance mikrofonu neboli efektivní výstupní odpor elektrického obvodu v mikrofonu vůči připojenému vodiči. Pro ideální impedanční přizpůsobení a nezkreslený přenos signálu by vstupní impedance předzesilovače a mikrofonu měla být shodná. U kondenzátorových a dynamických mikrofonů se výstupní impedance pohybuje od 150  $\Omega$  do 300  $\Omega$ , některé předzesilovače mají ale možnost pro specifické mikrofony přepnutí až na desítky ohmů. Z toho vyplývá, že by bylo vhodné vyřešit přepínání impedance podle připojeného mikrofonu. To bude řešeno odbočkami na primárním vinutí vstupního signálového audio transformátoru.

Také je důležité zmínit galvanické oddělení připojených zařízení přes vstupní signálový audio transformátor a výstupní signálový transformátor. Oddělení má několik důvodů – bezpečnost, impedanční a úroňové přizpůsobení zpracovávaného signálu a zamezení vzniku zemních smyček. Z tohoto důvodu také audiotechnika obsahuje tzv. přepínač „ground lift“, který přerušuje připojení výstupního signálu k zemi přímo v zařízení.

Pro návrh zesílení předzesilovače je důležité znát citlivost mikrofonu, což je poměr výstupního napětí mikrofonu (mV), na jednotku akustického tlaku (Pa). Citlivost se také někdy uvádí v decibelech (dB). Mikrofon má tím vyšší citlivost, čím je vyšší hodnota výstupního napětí při tlaku 1 Pa (94 dB). Citlivost kondenzátorových mikrofonů se pohybuje kolem hodnoty – 36 dB na 1 V/Pa, tedy několik desítek mV. Pokud se bavíme o dynamických mikrofonech, tak tam se pohybuje okolo hodnoty – 54 dB na 1 V/Pa, tedy menší hodnota napětí, několik jednotek mV. Tyto hodnoty jsou uvažovány pro frekvenci 1 kHz.

Další ovládaní, které předzesilovač musí obsahovat, je regulace výstupní hlasitosti. Nejčastěji se používá otočného potenciometru, setkáme se ale také s otočným přepínačem nastavujícím úroveň signálu v pevných krocích.

Potenciometr má plynule regulovat odpor v poměru nejméně 1:300, tj. 50 dB a má mít logaritmický průběh, aby jeho stupnice byla v decibelovém měřítku rovnoměrná. Odpor potenciometru nesmí být příliš velký, jinak by spolu se vstupní kapacitou následujícího zesilovacího stupně způsobil pokles vysokých kmitočtů.

Bylo by vhodné mít možnost měnit přímo také zesílení vstupní části obvodu, to bude realizováno přepínatelnou zpětnou vazbou mezi prvními dvěma triodami. Celkové zesílení pro zamýšlené typy mikrofonů by mělo dosahovat alespoň 35 dB. [1]

### 3.2 Frekvenční korekce

V předzesilovačích a nízkofrekvenční technice obecně se často setkáváme se čtyřpóly složenými z kapacit a odporů, tzv. RC články, které ovlivňují frekvenční přenos signálu. Někdy jsou jejich prvky tvořeny vazebními členy mezi jednotlivými elektronkami nebo přímo parametry elektronek, jako vnitřním odporem nebo kapacitou. Jindy jsou RC články vloženy záměrně a některý z prvků je proměnný, aby tím vznikly frekvenční korektory (ekvalizéry). Ty je možné využít k opravě kmitočtových nedostatků jednotlivých zdrojů signálu zesílením nebo potlačením některých částí akustického spektra, případně kreativně upravují snímaný zvuk. Nejjednodušším druhem ekvalizéru jsou dvoupásmové tónové korekce. Nejčastěji se s nimi můžeme setkat např. u domácích integrovaných zesilovačů nebo podobných zařízení. Tónové korekce se v praxi ovládají dvojicí potenciometrů (většinou otočných), ty bývají pro nízká frekvenční pásma – basy, nebo pro vysoká pásma – výšky. Což znamená, že jeden obvod je naladěn na oblast nižších kmitočtů a druhý na kmitočty vyšší. Součástí předzesilovače by měly být alespoň základní korekce umožňující regulaci nízkých a vysokých kmitočtů v několika krocích. [1]

### 3.3 Fantomové napájení

Pro správnou funkci kondenzátorových mikrofonů je nutné fantomové napájení. Fantomové napájení je stejnosměrné napětí, které zajišťuje napájení aktivních součástí v mikrofonech. Toto fantomové napájení je obvykle stejnosměrné napětí + 48 V. Termín "fantomové" pochází ze skutečnosti, že není potřeba žádný další napájecí kabel. Mikrofon



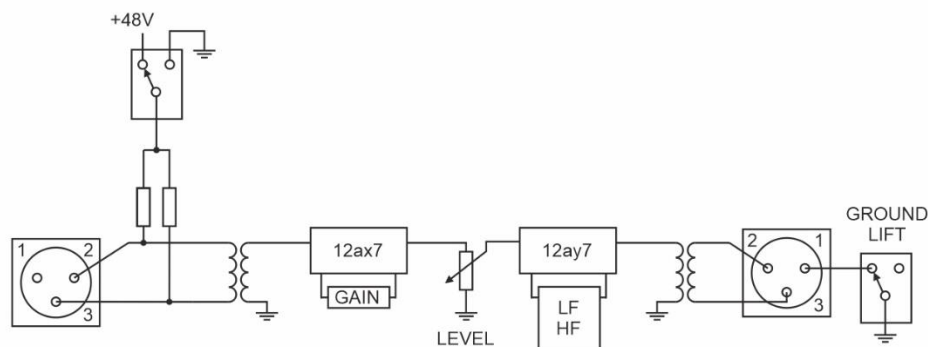
je napájen stejným kabelem, kterým je přenášen zvukový signál. Samostatné fantomové napájení najdeme nejen u mikrofonních předzesilovačů, ale i mixážních pultů a dalších audio zařízeních.

### 3.4 Návrh obvodu předzesilovače

Návrh celého obvodu vychází částečně z literatury popisující potřebnou teorii ([1], [8], [12], [26], [27]) a částečně z nastudovaných praktických poznatků získaných z konstrukcí komerčně dostupné elektronkové techniky. Jako aktivní prvky jsou v předzesilovači použity elektronky. V tomto zařízení budou 2 dvojité triody, první typu 12ax7 (ECC83), která má zesílení až 100, vynikající linearitu a nízkou mikrofoničnost, což znamená, že má nízkou citlivost na okolní rušivé mechanické a zvukové signály. V druhé polovině obvodu bude použita elektronka typu 12ay7 (ECC81) se zesílením 60, která je vhodnější pro buzení výstupního transformátoru. Celková úroveň výstupního signálu se bude korigovat velikostí přivedeného napětí na mřížku třetí triody V2-A pomocí otočného potenciometru (LEVEL). Zesílení vstupní části obvodu je možné regulovat přepínačem (GAIN), který mění sílu zpětné vazby mezi prvními dvěma stupni obvodu.

### 3.5 Blokové schéma předzesilovače

Na základě výše uvedených požadavků bylo vytvořeno následující základní blokové schéma předzesilovače (obr. 4).



Obrázek 4 Blokové schéma předzesilovače

### 3.6 Zapojení triody se společnou katodou

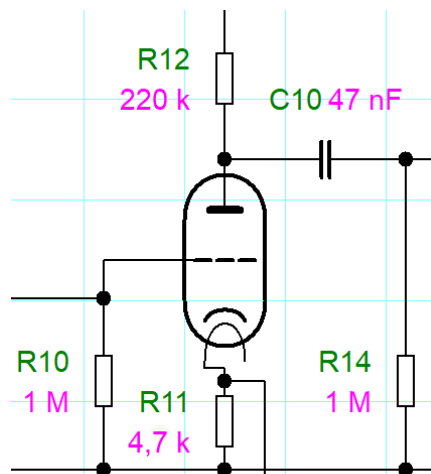
Návrh zesilovacího stupně bude proveden pro vstupní triodu V1-A, kdy všechny další triody jsou zapojeny a řešeny stejným způsobem. Zapojení triody se společnou katodou se takto označuje, protože katodový odpor pro výstupní i vstupní část elektronky je jednotný. Toto zapojení patří mezi jedno ze základních, nejjednodušších a nejvíce používaných, pokud se bavíme o zapojení triody jako zesilovacího stupně. Na obrázku 5 je vidět právě toto zapojení, které platí pro triodu V1-A prvního kanálu. Návrh je realizován graficko-početní metodou, protože při návrhu využívá naměřených voltampérových charakteristik. Trioda má velmi vysokou vstupní impedanci, a tak její vstupní odpor je víceméně dán hodnotou vstupního rezistoru  $R_{10}$ . Mezi velmi důležité parametry při návrhu zesilovacího stupně patří strmost (3.1), vnitřní odpor elektronky (3.2) a napěťové zesílení (3.3).

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \quad U_a = konst \quad [mA/V, mA, V] \quad (3.1)$$

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad U_g = konst \quad [k\Omega, V, A] \quad (3.2)$$

$$A_u = \mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \quad I_a = konst \quad [- , V] \quad (3.3)$$

Strmost udává o jak moc velký proud (v řádu mA) se změní anodový proud při změně  $U_g$  o 1 V. Protože pro slabé signály z mikrofonu potřebujeme vysoké zesílení, vyžadujeme do vstupní části obvodu elektronku s co největší strmostí.



Obrázek 5 Zapojení triody se společnou katodou

U návrhu zesilovacího stupně se uvažuje zaprvé statický stav, tedy takový stav, kdy na řídicí mřížce není žádný signál. Pro stejnosměrný proud bude mít vazební kondenzátor  $C_{10}$  nekonečně velkou reaktanci a tím pádem je možné ho nahradit rozpojeným obvodem. Zvolí se napájecí napětí, v našem případě 200 V, které je výrazně vyšší než napětí na katodovém rezistoru  $R_{11}$ , a proto je možné úplně zanedbat celkový úbytek napětí na něm. Pak je tedy možné napsat zjednodušený vztah (3.4) pro sčítání napětí ve výstupní části obvodu. Díky velmi vysokému vstupnímu odporu řídicí mřížky, a tím pádem velmi nízkého vstupního proudu je možno vstupní část obvodu zanedbat.

$$U_n = U_a + R_{12} \cdot I_a \quad [V, k\Omega, mA] \quad (3.4)$$

Dále je potřeba vybrat vhodnou velikost anodového odporu  $R_{12}$ . Nejvíce používané hodnoty jsou od 47 k $\Omega$  do 220 k $\Omega$ . Tato velikost bude udávat sklon zatěžovací přímky ve statickém stavu. To bude mít vliv na rozkmit zesíleného signálu neboli na zesílení triody. Na základě tabulky 1 volíme hodnotu anodového rezistoru 220 k $\Omega$ , protože získáme nejvyšší zesílení a zároveň nejnižší zkreslení druhé harmonické složky. Pokud bude menší anodový odpor, bude strmost přímky větší. To tedy znamená, že bude menší zesílení a větší zkreslení druhé harmonické.

Tab. 1 Ukázka vlastností pro různé hodnoty anodových rezistorů [3]

Hodnota anodového odporu	Napěťové zesílení	Maximální rozkmit	Zkreslení 2. harmonické složky
47 k $\Omega$	43	130 V	7,7 %
100 k $\Omega$	60	180 V	4,3 %
200 k $\Omega$	68	205 V	3,7 %

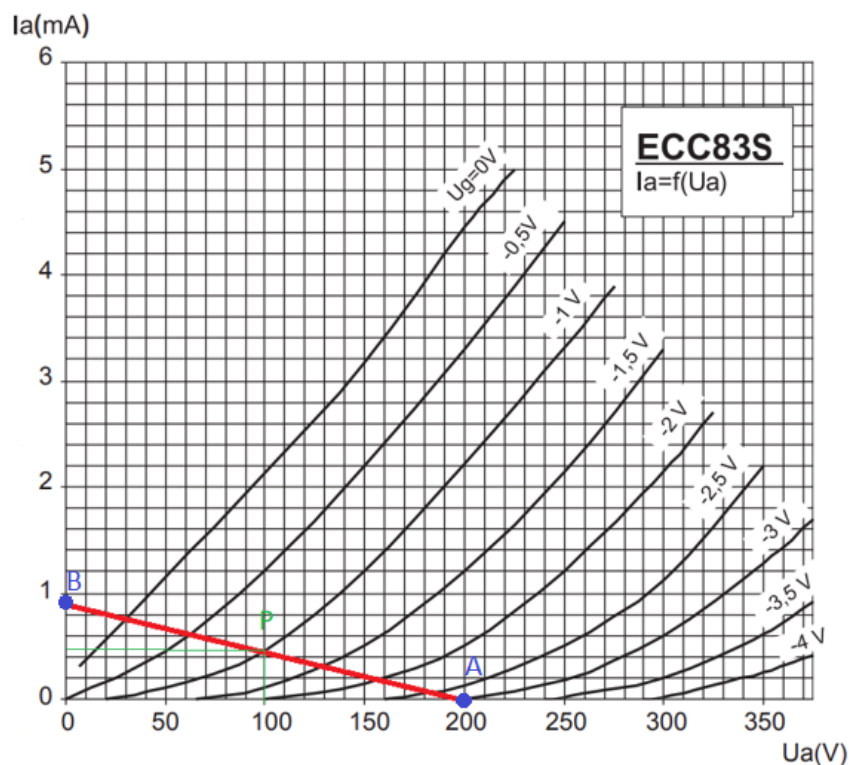
A nyní lze začít řešit analýzu obvodu grafickou metodou, což spočívá v nakreslení zatěžovací přímky do volt-ampérové charakteristiky triody. K jejímu sestrojení potřebujeme dva krajní body a následně je možné zvolit vhodný pracovní bod zesilovacího stupně. Pro první krajní bod A platí, že napětí  $U_a = 200$  V a proud  $I_a = 0$  mA. A pro druhý krajní bod B platí, že napětí  $U_a$  je nulové a proud  $I_a$  vypočteme z Ohmova zákona. (3.5)

$$I_{a \max} = \frac{U_n}{R_{12}} \quad [mA, V, k\Omega] \quad (3.5)$$

Záporného předpětí vstupní mřížky se dosáhne díky katodovému odporu. Volt-ampérové charakteristiky jsou uvedeny pro vstupní napětí  $U_g$  0 až  $-4$  V, pro naše účely bylo vybráno  $U_{g1} = -1,5$  V. V místě, kde se potká volt-ampérová charakteristika pro  $U_{g1} = -1,5$  V a zatěžovací přímka získáme pracovní bod P. Po zvolení  $U_g$  můžeme jednoduše podle vztahu (3.6) spočítat katodový odpor pro námi zvolený pracovní bod P, kde proud  $I_a$  odečteme z grafu. V tomto případě je tedy  $I_a$  0,3 mA.

$$R_k = \frac{|-U_{g1}|}{I_a} \quad [k\Omega, V, mA] \quad (3.6)$$

Výsledná hodnota katodového odporu je 5 k $\Omega$ . Z řady E12 byl vybrán nejbližší odpor, který je 4,7 k $\Omega$ .



Obrázek 6 Nastavení pracovního bodu triody, V-A charakteristika z [2]

### 3.7 Vazební kondenzátor

Vazební kondenzátor  $C_{10}$  odděluje stejnosměrnou složku mezi dvěma zesilovacími stupni zařízení. Do jisté míry ovlivňuje frekvenční charakteristiku a vytváří horní propust s vazebním odporem  $R_{12}$ . Mezní frekvence  $f_m$ , na které dojde k útlumu o 3 dB, právě této RC horní propusti lze vypočítat dle vztahu (3.7), kde pracovní odpor  $R_p$  je paralelní kombinace  $R_{14}$  a  $R_{12}$  a  $R_i$  je vnitřní odpor elektronky. [26]

$$f_m = \frac{1}{2\pi \cdot C_{10} \cdot \left(\frac{R_p \cdot R_i}{R_p + R_i} + R_{12}\right)} \quad [\text{Hz, F, } \Omega] \quad (3.7)$$

Velikost vazebních kondenzátorů byla zvolena  $0,047\mu\text{F}$ , což by mělo zajišťovat dostatečnou šířku přenášeného frekvenčního pásma v oblasti nízkých kmitočtů.

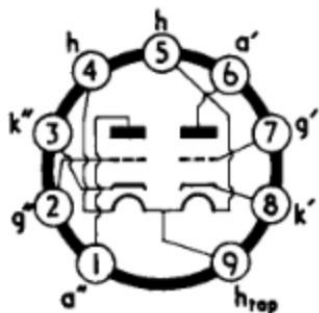
### 3.8 Frekvenční korekce

Frekvenční korekce jsou tvořené přepínatelnou sítí RC členů tvořících jednotlivé horní a dolní propusti. Jako příklad řešení je uvedena část pro nízké kmitočty LF1 -6 dB z rezistoru  $R_{22}$  a kondenzátoru  $C_{14}$ , která je zařazena před potenciometr LEVEL a navazuje na vazební kondenzátor  $C_{12}$ . Přepínač LF je dvojitý a druhá část ovládá korekci +6 dB. Pro korekce vyšších frekvencí je použit také otočný přepínač se 4 polohami (-6, 0, +3, +6 dB). Schéma celého signálového obvodu předzesilovače je v příloze A na obrázku A1.

### 3.9 Návrh napájecího zdroje

#### 3.9.1 Část nízkého napětí

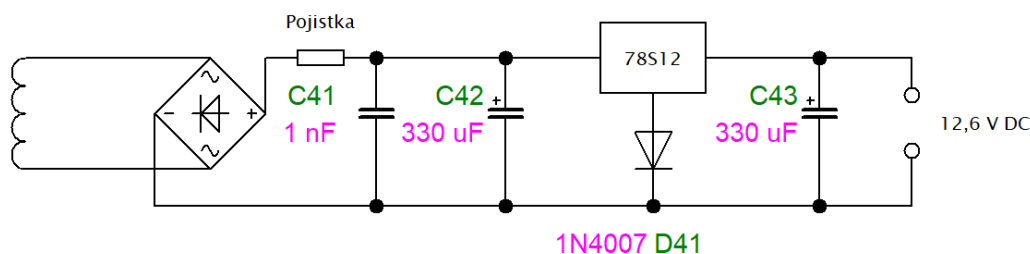
Elektronky potřebují ke své funkci tzv. žhavení. Pro nepřímo žhavené elektronky 12ax7 (ECC83) a 12ay7 (ECC81) je možné použít žhavení o velikosti napětí 6,3 V při proudu 0,3 A nebo 12,6 V při proudu 0,15 A. [2] Vybráno bylo napětí 12,6 V kvůli menšímu proudu, pro který je možné dosáhnout lepšího vyhlazení usměrněného napětí. Žhavení obou elektronek bude zapojeno paralelně, celkový proud při napětí 12,6 V bude 300 mA. [6]



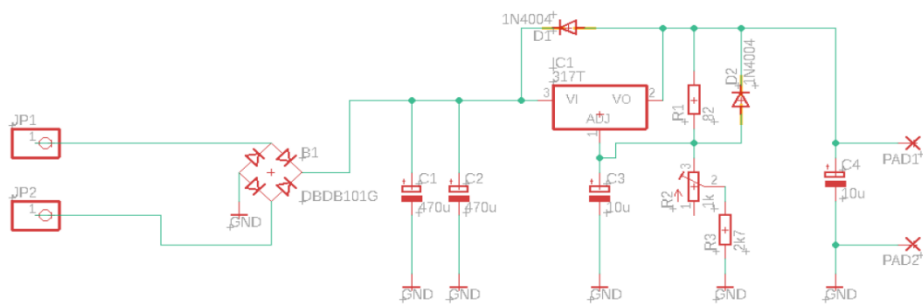
Obrázek 7 Vnitřní zapojení elektronek typu ECC83/81 [2]

Žhavicí napětí se připojí na piny 4 a 5 (viz zapojení vývodů dvojité triody na obrázku 7). Pro stabilizaci napětí je vybrán stabilizátor 78S12. Zapojení stabilizátoru je víceméně katalogové, kromě přidané diody 1N4007 mezi pinem 2 a zemí, která zvýší výstupní napětí stabilizátoru o napětí diody (0,6 V) na požadovanou hodnotu 12,6 V. Kvůli co nejmenšímu zvlnění výstupního napětí budou použity elektrolytické kondenzátory o poměrně vysoké kapacitě. Filtrační kondenzátor za můstkovým usměrňovačem 1 mF a na výstupu stabilizátoru kondenzátor 330  $\mu$ F. [7]

Pro zdroj fantomového napájení bylo použito katalogového zapojení stabilizátoru TL783C. Jedná se o stabilizátor, u kterého jde plynule nastavit výstupní napětí pomocí trimru až do 125 V. [25]



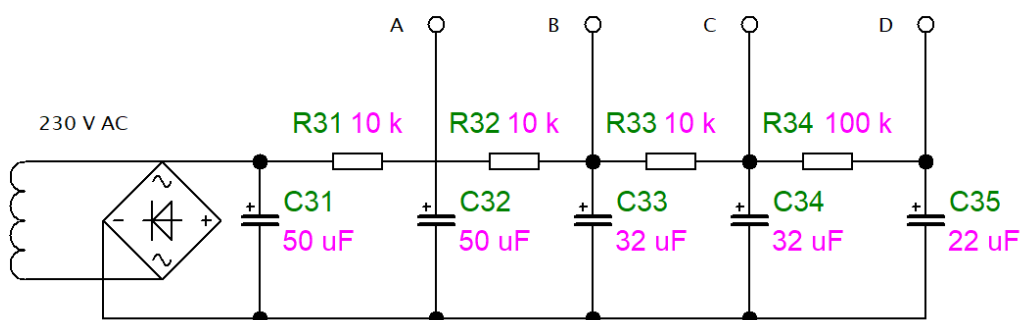
Obrázek 8 Obvod stabilizátoru 78S12



Obrázek 9 Zdroj fantomového napětí

### 3.9.2 Část vysokého napětí

Anodové napětí elektronek se běžně pohybuje od 200 do 500 V. Na takto vysoké napětí nejsou běžné stabilizátory určeny, takže se pracuje pouze s vyhlazením usměrněného napětí sérií RC článků. Pro napájení obvodu počítáme s napětím 250 V. V první verzi předzesilovače se počítá s použitím dvojice dvojitých triod, kdy celkový proudový odběr by měl být maximálně 10 mA. Pro případné rozšíření zesilovače o druhý kanál nebo další funkce je vhodné napájecí zdroj předdimenzovat (alespoň 20 mA).



Obrázek 10 Schéma zdroje

Z výše uvedených požadavků na jednotlivé části napájecího zdroje je možné sestavit tabulku parametrů pro výrobu napájecího transformátoru. Transformátor byl na zakázku vyroben firmou TBP Blatná.

Tab. 2 Parametry vinutí napájecího transformátoru

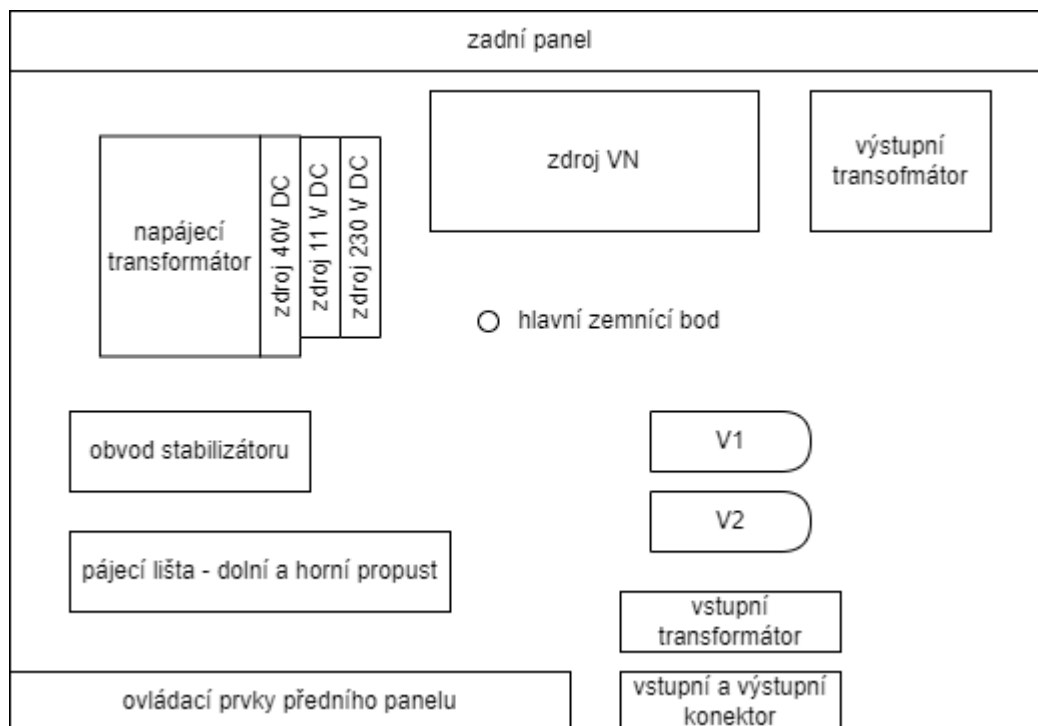
primární vinutí	230 V
sekundární vinutí	
žhavení triod	11 V / 1 A
anodové napětí	230 V / 20 mA
fantomové napájení	40 V / 100 mA

## 4 Konstrukce

V této kapitole bude popsáno mechanické provedení a samotná konstrukce prototypu předzesilovače.

### 4.1 Geometrické uspořádání

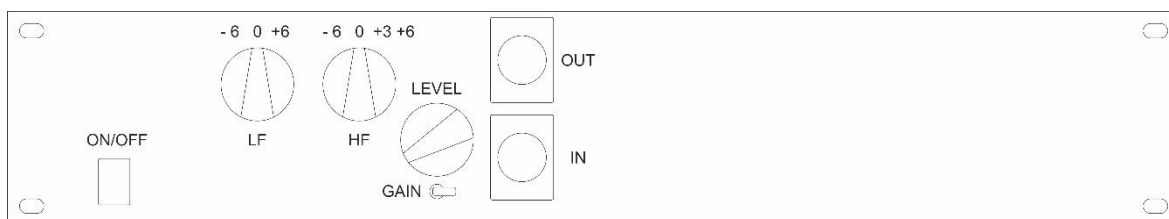
Samotné zařízení bude umístěno v plechové krabici o šířce 440 mm, hloubce 350 mm a výšce 88 mm. To odpovídá typizovanému rozměru rack 2U. Pro sestavení první verze zařízení bylo využito starší prototypové krabice. Velikost umožňuje přístupné rozmístění jednotlivých prvků obvodu i další možné rozšíření. Krabice je vyrobena z 1,2 mm silného ocelového plechu, čelní panel z 2 mm. Pro rozmístění jednotlivých bloků zařízení je zapotřebí dbát na jejich polohu vzhledem k poloze konektorů a ovládacích prvků v čelním panelu i k vzájemné poloze s ohledem na typologii obvodu a možné rušení. V zařízení budou 3 transformátory, které je potřeba umístit tak, aby nemohlo dojít k vzájemnému indukovaní rušivých napětí. Pro tento účel budou umístěny, co nejdále od sebe a s vhodným pootočením jader. Rozmístění jednotlivých bloků obvodu je na obrázku níže.



Obrázek 11 Rozmístění bloků zařízení



Obě elektronky budou situovány co nejbližší zemního měděného drátu ve vodorovné poloze, tato pozice umožňuje dobrý přístup k přiletování součástek přímo na patice elektronek. Pro získání co nejlepších parametrů a nízkého rušení je důležité zachovat co nejkratší délky vodičů signálových cest. Právě proto bude vstupní elektronka co nejbližší u vstupního konektoru. Obvod systému ovládaní dolní a horní propusti bude umístěn blízko elektronek a také blízko jejich ovládaní (otočné přepínače na čelním panelu). Na zadním panelu je umístěn pouze vstup napájení ze sítě s pojistkou. Dále budou některé součástky první verze obvodu umístěny na pájecí liště, protože se počítá s postupným laděním obvodu, a tedy plošný spoj není příliš vhodný. Ten bude navržen až pro odladěnou verzi obvodu. Jednoduché dílčí části obvodu budou konstruovány přímo na příslušných potenciometrech nebo přepínačích. Rozmístění jednotlivých ovládacích prvků na čelním panelu je na obrázku 12.



Obrázek 12 Prvky předního panelu

Popis prvků předního panelu:

ON/OFF	hlavní vypínač
LF	laditelná dolní propust – regulace basů
HF	laditelná horní propust – regulace výšek
LEVEL	regulace úrovně signálu
GAIN	přepínač zesílení
OUT	výstup předzesilovače
IN	vstup předzesilovače

## 4.2 Chlazení zařízení

Zvolené provedení umožňuje montáž do tzv. racku, kdy je několik zařízení montováno těsně nad sebe. Sice se jedná o elektronkové zařízení, ale v tomto případě pouze o předzesilovač s dvojicí novalových elektronek, které nemají tak vysokou tepelnou ztrátu

jako je tomu v případě výkonových zesilovačů. Další nezanedbatelné tepelné ztráty jsou už pouze na stabilizátorech ve zdrojích žhavicího a fantomového napětí. Celková tepelná ztráta je tedy poměrně nízká a není potřeba aktivní chlazení ventilátorem. U prototypové verze se nepočítá s umístěním do racku s více zařízeními, ale chlazení zařízení je částečně možné stávajícími průduchy v dolní a horní části krabice a také otvory v přední a části šasi. Krabice stojí na 4 nožičkách o výšce 6 mm. Vzniklá mezera umožňuje lepší přístup studeného vzduchu skrz dolní větrací mřížku.

### 4.3 Zemnění

Dobré zemnění jednotlivých částí obvodu je zásadní z hlediska náchylnosti zařízení k rušivým vlivům. Díky špatné kvalitě zemního spoje nebo vlivem zemních smyček se může na předzesilovači objevit nežádoucí brum a šum. Vzhledem k velké citlivosti elektronek bude velmi důležité udělat zemnění celého předzesilovače správné. Pro zemnění bude vytvořena „sběrnice“ z měděného drátu o průměru 1,5 mm. Tento drát vede skrz celou plechovou krabici od zdroje vysokého napětí až ke vstupu předzesilovače a jsou na něj taženy nejkratší cestou všechny dílčí zemní spoje. K šasi je spojen pomocí šroubu M4 s vějířovou podložkou v blízkosti napájecího zdroje. Snahou je mít hlavně u signálové části obvodu co nejmenší délku drátů mezi zemí a dalšími prvky obvodu.

### 4.4 Výběr součástek

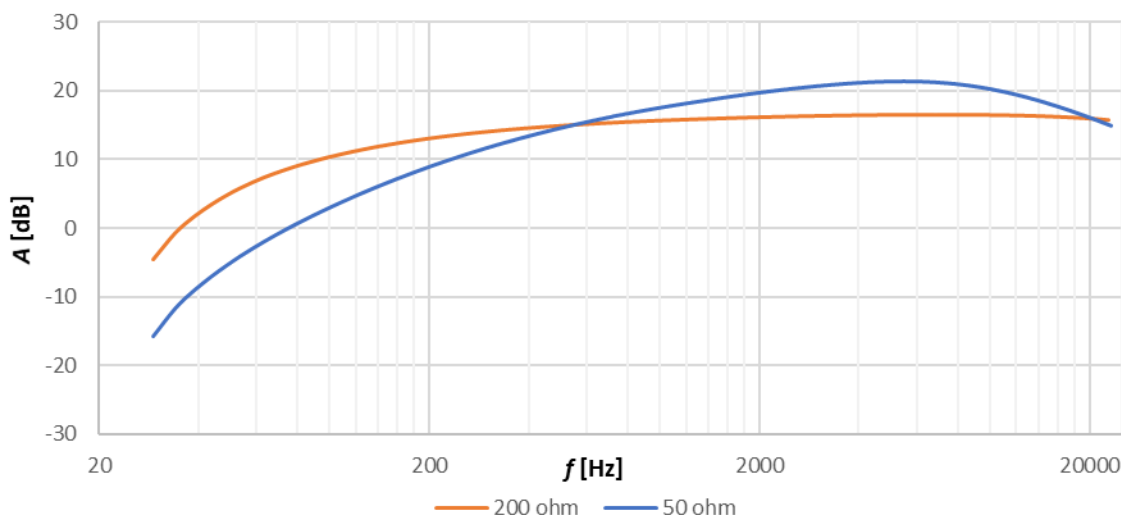
Použité součástky musí být vybrány s pečlivým ohledem na výkonové a napěťové zatížení. Metalizované typy rezistorů mají menší šum a jsou lepší pro obvody s vysokým zesílením. Kondenzátory budou voleny podle provozního napětí, které se v dané části obvodu vyskytuje. V části vysokého napětí budou voleny kondenzátory minimálně na 400 V. V katodách elektronek a obvodech stabilizátorů budou voleny kondenzátory na odpovídající nižší napětí. Elektrolytické kondenzátory budou použity pro hodnoty v řádech  $\mu\text{F}$ , svitkové pro kapacity v řádech nF a slídové v řádech pF. Pro ovládání hlasitosti byl použit potenciometr s logaritmickým průběhem, v obvodu frekvenčních korekcí jsou použity otočné přepínače umožňující přepínání až 4 variant korekcí. Pro propojení jednotlivých součástek a obvodů budou použity měděné dráty a lankové vodiče o minimálním průměru 0,6 mm. Stíněný koaxiální kabel bude použit pro signálový spoj od vstupu předzesilovače k vstupnímu transformátoru a od výstupního transformátoru k výstupními konektoru. Jedinými aktivními prvky v signálovém obvodu jsou elektrony

typu dvojitá trioda. Na vstupu je použita elektronka 12ax7 (ECC83) se zesílením až 100 a v druhé části obvodu elektronka 12ay7 (ECC81) se zesílením 60.

Pro prototyp předzesilovače je vybrána dvojice signálových transformátorů z produkce TBP Blatná. Vstupní signálový audio transformátor s primárním vinutím  $200\ \Omega$  s odbočkou na  $50\ \Omega$  a převodním poměrem 1:7 a výstupní signálový transformátor, který má převodní poměr také 1:7. Na primárním vinutí  $29\ \text{k}\Omega$  a na sekundárním  $600\ \Omega$ .

## 5 Ověření parametrů předzesilovače

Z hlediska kvality frekvenčního přenosu předzesilovače jsou zásadní dílčí parametry vstupního a výstupního transformátoru. Jejich konstrukce udává šířku přenášeného pásma. Před samotnou konstrukcí byly proto změřeny parametry obou transformátorů pomocí analyzátoru AP582 a vstupního modulu AUX-0100. Výstupní impedance generátoru byla nastavena na  $40 \Omega$  a napětí 100 mV.

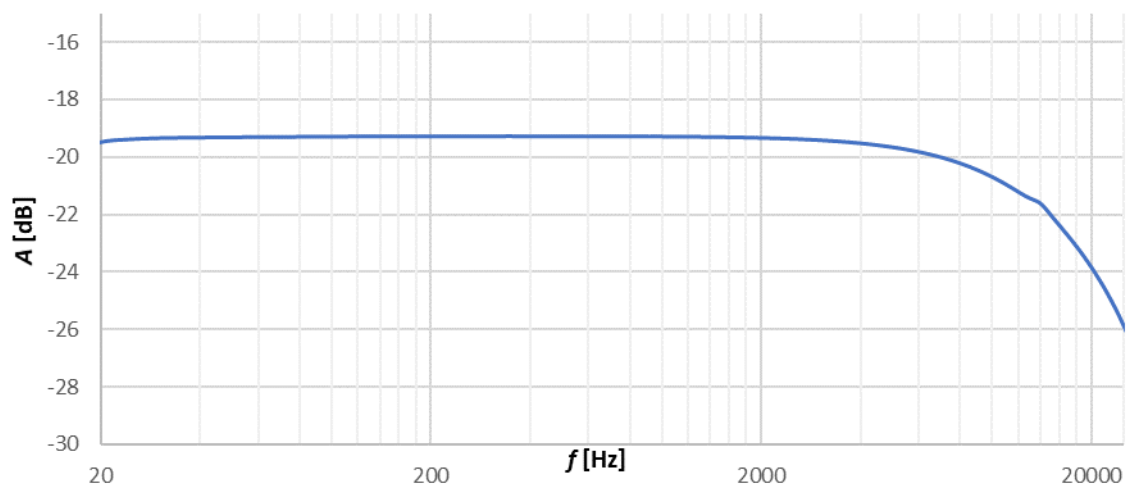


Obrázek 13 Frekvenční charakteristika vstupního transformátoru

Tab. 3 Výsledku měření harmonického zkreslení

f	primární vinutí [ $\Omega$ ]	THD	
		10 mV	100 mV
100 Hz	50	0,9	11
	200	7,5	4,5
1 kHz	50	0,6	2,5
	200	0,35	0,7
10 kHz	50	0,01	0,04
	200	0,01	0,002

Vstupní transformátor má díky své malé velikosti (20x20x6,5 mm) omezený přenos nízkých frekvencí a dochází tedy ke zkreslení přenášeného signálu. Tento jev je dobře viditelný ve frekvenční charakteristice na obrázku 13, a také z výsledku měření harmonického zkreslení v tabulce 3. Pro nezkrácený přenos na nízkých frekvencích by bylo vhodnější použít transformátor s větším průřezem jádra.

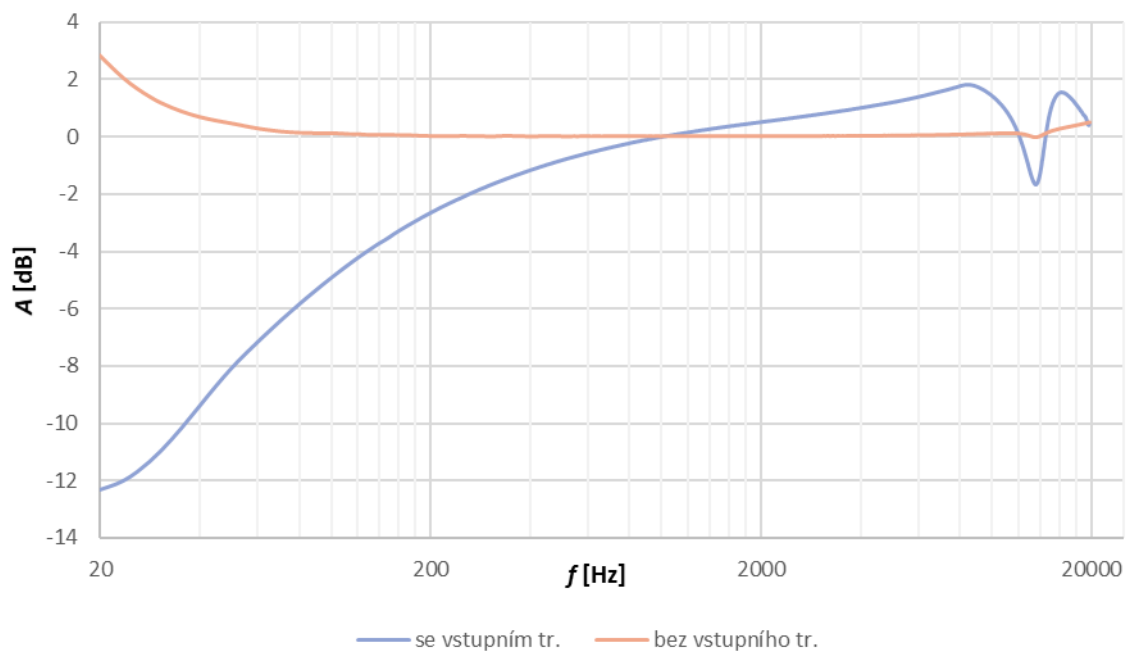


Obrázek 14 Frekvenční charakteristika výstupního transformátoru

Změřen byl také výstupní transformátor, v tomto případě byla výstupní impedance generátoru nastavena na  $600 \Omega$ . U výstupního transformátoru o velikosti jádra  $60 \times 48 \times 21$  mm již není problém s přenosem nízkých frekvencí, naopak je zde částečně omezené pásmo vysokých kmitočtů (obrázek 14).

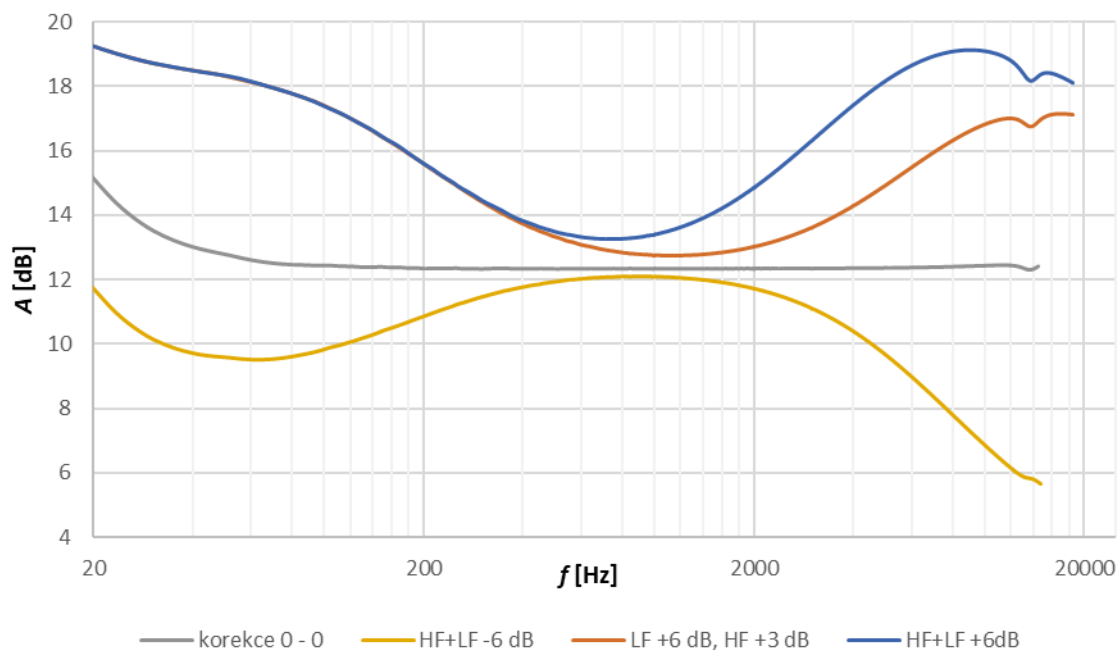
Měřené transformátory budou použity pro první verzi prototypu a jejich případná výměna bude řešena až v případě vyšších nároků na přenášené pásmo. Zmíněná frekvenční omezení nejsou až tak zásadní, pokud by se předpokládalo použití pouze pro snímání lidského hlasu. Kvalitnější vstupní transformátor s lepšími parametry je řádově větší investicí.

Po zapojení celého obvodu a oživení předzesilovače se potvrdilo, že omezený přenos nízkých frekvencí vstupního transformátoru má vliv na frekvenční charakteristiku celého obvodu. Pro porovnání je v grafu na obrázku 15 uvedena i frekvenční charakteristika předzesilovače bez vstupního transformátoru.



Obrázek 15 Frekvenční charakteristika bez výstupního/ se vstupním transformátorem

Dále byl ověřen vliv různého nastavení frekvenčních korekcí. Výsledky lze vidět na obrázku 16 (pro lepší ilustraci funkce měřeno bez vstupního transformátoru). Šedivá křivka je změřena s korekcemi v nulové poloze, žlutá pro korekci výšek i basů na  $-6$  dB, oranžová pro korekci basů  $+6$  dB a výšek  $+3$  dB a modrá pro korekci basů i výšek  $+6$  dB. Korekce basů i výšek je samozřejmě možné použít také samostatně. Jejich vliv na frekvenční spektrum je dostatečný a umožňuje požadované úpravy barvy zvuku.



Obrázek 16 Frekvenční charakteristika frekvenčních korekcí

U prototypu předzesilovače (včetně vstupního transformátoru) byly dále změřeny parametry popisující šumové vlastnosti předzesilovače a harmonické zkreslení. Tato měření probíhala s nastavením přepínače GAIN na +8 dB a s ovladačem LEVEL na poloviční hodnotu. Pro porovnání byl stejným způsobem změřen i komerčně vyráběný předzesilovač firmy Joemeek, typ Twin Q. Jde o dvoukanálový polovodičový předzesilovač s optickým kompresorem a ekvalizérem, měřena byla ale pouze samotná část předzesilovače.

Tab. 4. Naměřené hodnoty SNR, THD+N a THD prototypu předzesilovače

vstupní signál	10 mV	100 mV	1 V
SNR [dB], 1 kHz	53	75	84
THD+N [%], 1 kHz	0,45	1,06	-
THD [%], 1 kHz	0,3	0,9	-

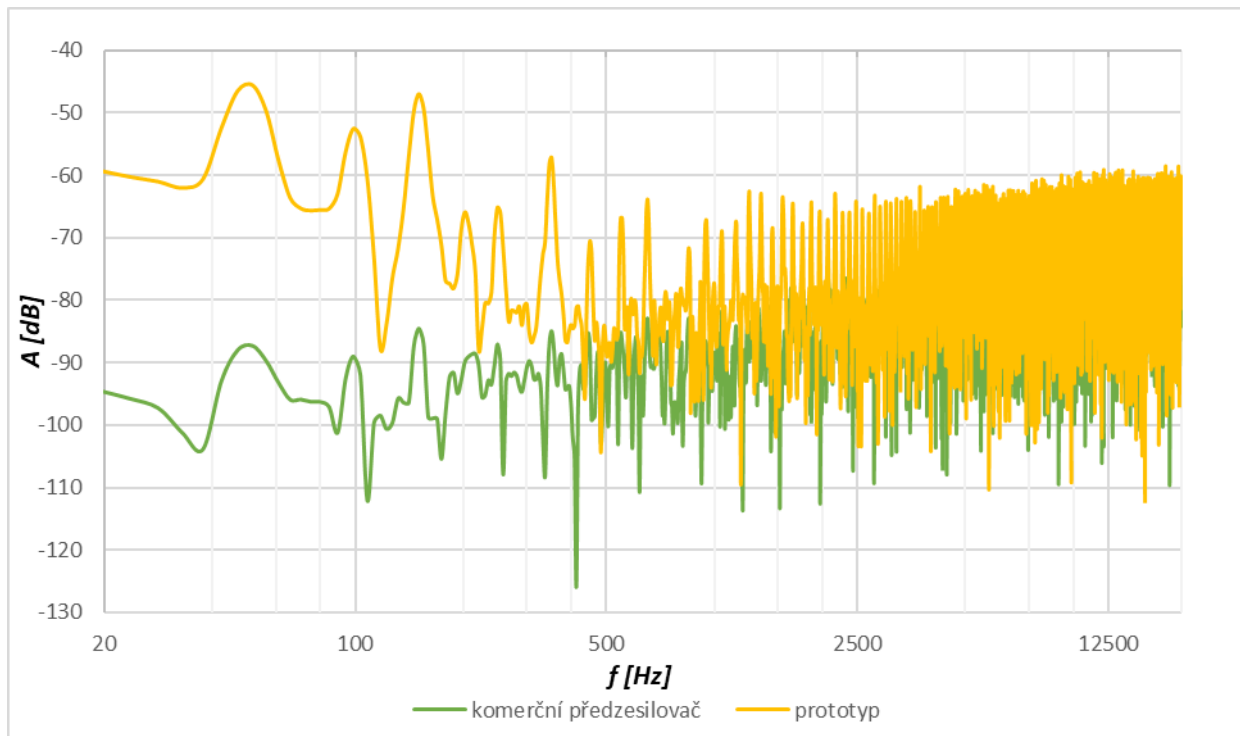
Tab. 5. Naměřené hodnoty SNR, THD+N a THD komerční předzesilovač Joemeek Twin Q

vstupní signál	10 mV	100 mV	1 V
SNR [dB], 1 kHz	76	96	111
THD+N [%], 1 kHz	0,015	0,01	-
THD [%], 1 kHz	0,002	0,01	-

Pro prototyp zařízení bylo změřeno maximální zesílení (gain) 51 dB, které je možné plynule regulovat potenciometrem LEVEL a přepínačem GAIN o -8 dB. Komerční předzesilovač dosahuje maximálního zesílení 60,6 dB.

Z naměřených hodnot v tabulkách 4 a 5 je jasné, že měřený komerční předzesilovač Joemeek Twin Q má ve všech sledovaných parametrech lepší výsledky. To se dalo vzhledem k jeho polovodičové koncepci předpokládat. U elektronkových zařízení s vysokým zesílením je největší problém s pronikáním brumu (v násobcích síťové frekvence) do signálové části obvodu přes nedokonalé vyhlazení anodového napětí a žhavení elektronek. Toto dokazuje i graf frekvenčních charakteristik naměřených při odpojení vstupu předzesilovače. V případě elektronkového prototypu jsou výrazné právě násobky 50 Hz, tedy základná frekvence síťového napětí. Tento jev výrazně zhoršuje parametry SNR a THD + N. V další verzi předzesilovače proto budou použity pro vyhlazení anodového napětí kondenzátory s vyšší kapacitou.





Obrázek 17 Frekvenční charakteristiky šumu prototypu a komerčního předzesilovače

## Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout a zrealizovat elektronový mikrofonní předzesilovač. Výsledkem je prototyp, který splnil očekávání této práce. Jednotlivé obvody mají požadovanou funkci, ale vyskytují se určité nedostatky. Pro získání vyrovnanější frekvenční charakteristiky je zapotřebí vyměnit vstupní signálový transformátor. Ten současný kvůli svému malému průřezu jádra omezuje přenos nízkých frekvencí a dochází ke zkreslení přenášeného signálu. Dále by bylo vhodné lokalizovat vznik rušení násobky síťové frekvence a co nejvíce ho omezit. To by vedlo k výraznému zlepšení parametru SNR. Pro kontrolu síly zpracovávaného signálu by bylo vhodné osadit přední panel předzesilovače ještě rafičkovým indikátorem vybuzení a obvod související elektronikou. Po vyřešení výše popsaných problémů bude možné navrhnout finální verzi plošného spoje a případně zmenšit rozměry zařízení. V přílohách práce jsou uvedena schémata dílčích částí obvodu, deska plošného spoje pro fantomové napájení, seznam použitých součástek a fotografie dokončeného zařízení.

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1</i> Mikrofonní kapsle s pohyblivou cívkou [4] .....	- 3 -
<i>Obrázek 2</i> Konstrukce páskového mikrofonu [4] .....	- 4 -
<i>Obrázek 3</i> Kondenzátorová mikrofonní kapsle se zlatem naprášenou mylarovou membránou. [5] .....	- 5 -
<i>Obrázek 4</i> Blokové schéma předzesilovače .....	- 9 -
<i>Obrázek 5</i> Zapojení triody se společnou katodou .....	- 10 -
<i>Obrázek 6</i> Nastavení pracovního bodu triody, V-A charakteristika z [2] .....	- 12 -
<i>Obrázek 7</i> Vnitřní zapojení elektronek typu ECC83/81 [2] .....	- 14 -
<i>Obrázek 8</i> Obvod stabilizátoru 78S12 .....	- 14 -
<i>Obrázek 9</i> Zdroj fantomového napětí .....	- 14 -
<i>Obrázek 10</i> Schéma zdroje .....	- 15 -
<i>Obrázek 11</i> Rozmístění bloků zařízení .....	- 16 -
<i>Obrázek 12</i> Prvky předního panelu .....	- 17 -
<i>Obrázek 13</i> Frekvenční charakteristika vstupního transformátoru .....	- 20 -
<i>Obrázek 14</i> Frekvenční charakteristika výstupního transformátoru .....	- 21 -
<i>Obrázek 15</i> Frekvenční charakteristika bez výstupního/se vstupním transformátorem .....	- 22 -
<i>Obrázek 16</i> Frekvenční charakteristika frekvenčních korekcí .....	- 23 -
<i>Obrázek 17</i> Frekvenční charakteristiky šumu prototypu a komerčního předzesilovače .....	- 25 -
<i>Obrázek A1</i> Schéma zapojení předzesilovače .....	I
<i>Obrázek A2</i> Obvod stabilizátoru 78S12 .....	II
<i>Obrázek A3</i> Schéma zdroje .....	II
<i>Obrázek B1</i> Deska plošného spoje fantomového napájení .....	III
<i>Obrázek D1</i> Pohled na dokončené zařízení .....	V
<i>Obrázek D2</i> Pohled do otevřeného zařízení .....	VI

## Literatura

- [1] LUKEŠ, J. Věrný zvuk. Bratislava: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [2] ECC83S [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://www.jj-electronic.com/images/stories/product/preamplifying\\_tubes/pdf/ecc83s.pdf](https://www.jj-electronic.com/images/stories/product/preamplifying_tubes/pdf/ecc83s.pdf)
- [3] BLENCOWES, M. Designing Valve Preamps for Guitar and Bass. Druhé vydání. Wem Publishing, 2012. ISBN-10 0956154522.
- [4] WHAT IS A DYNAMIC MICROPHONE? [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.neumann.com/homestudio/en/what-is-a-dynamic-microphone>
- [5] What is a Condenser Microphone? [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.neumann.com/homestudio/en/what-is-a-condenser-microphone>
- [6] ECC81 [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://www.jj-electronic.com/images/stories/product/preamplifying\\_tubes/pdf/ecc81.pdf](https://www.jj-electronic.com/images/stories/product/preamplifying_tubes/pdf/ecc81.pdf)
- [7] L78S [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1310623/STMicroelectronics/L78S12C/1>
- [8] VLACH, J. Lampárna aneb Co to zkusit s elektronkami? Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-091-1.
- [9] What is a microphone [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.javatpoint.com/microphone>
- [10] Ekvalizér [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ekvalizér>
- [11] Microphone and its Functions [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://qsstudy.com/microphone-and-its-functions/>
- [12] The Valve Wizard [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.valvewizard.co.uk/index.html>
- [13] Guitar center [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://www.guitarcenter.com/Art/ProMPA-II-2-Channel-Tube-Mic-Preamp.gc?fbclid=IwAR3LnTyTUMq5Qxv\\_Chhd38odZRQkdNBz\\_2mqQAglm2bx1AopZfiknOmrO2c](https://www.guitarcenter.com/Art/ProMPA-II-2-Channel-Tube-Mic-Preamp.gc?fbclid=IwAR3LnTyTUMq5Qxv_Chhd38odZRQkdNBz_2mqQAglm2bx1AopZfiknOmrO2c)

- [14] Efektivní galvanické oddělení [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://papouch.com/efektivni-galvanicke-oddeleni-p3738/>
- [15] Elektrotechnické řady hodnot E3, E6, E12, E24 [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://ok1kvk.cz/clanek/2011/elektrotechnicke-rady-hodnot-e3-e6-e12-e24/>
- [16] NT2-A [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [http://cdn1.rode.com/nt2-a\\_datasheet.pdf](http://cdn1.rode.com/nt2-a_datasheet.pdf)
- [17] SM58 [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://media.sweetwater.com/store/media/us\\_pro\\_sm58\\_specsheets.pdf](https://media.sweetwater.com/store/media/us_pro_sm58_specsheets.pdf)
- [18] Pantershop [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://pantershop.cz/Mikrofony/3400441-M-149-Tube-4006087083901.html?gclid=Cj0KCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkGA\\_7t14ElsnkmIhY3IPtpShqE3eFS6Ra--UqpyNxQ2H2gXb2rjrnIaAuROEALw\\_wcB](https://pantershop.cz/Mikrofony/3400441-M-149-Tube-4006087083901.html?gclid=Cj0KCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkGA_7t14ElsnkmIhY3IPtpShqE3eFS6Ra--UqpyNxQ2H2gXb2rjrnIaAuROEALw_wcB)
- [19] The Basics of Phantom Power for Microphones [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.sageaudio.com/blog/studio-equipment/basics-phantom-power-microphones.php>
- [20] Citlivost mikrofonu [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://neumann.cz/?id=333>
- [21] HRUBY, O. Nízkofrekvenční elektronkový zesilovač. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2018. 66 s., ř s. příloh. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Tomáš Musil.
- [22] Princip elektronek [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://elektronika01.blogspot.com/2010/08/5-princip-elektronek-dioda-trioda.html>
- [23] What is a Preamplifier? Why Do We Need Them? [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://ledgernote.com/columns/studio-recording/what-is-a-preamplifier/>
- [24] THD and THD+N [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.ap.com/blog/thd-and-thdn-similar-but-not-the-same/>
- [25] TL783 High-voltage Adjustable Regulator [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl783.pdf?ts=1652961653306&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl783.pdf?ts=1652961653306&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)

[26] HRUBY, J. Konstrukce předzesilovače pro elektrickou kytaru. Plzeň, 2007.

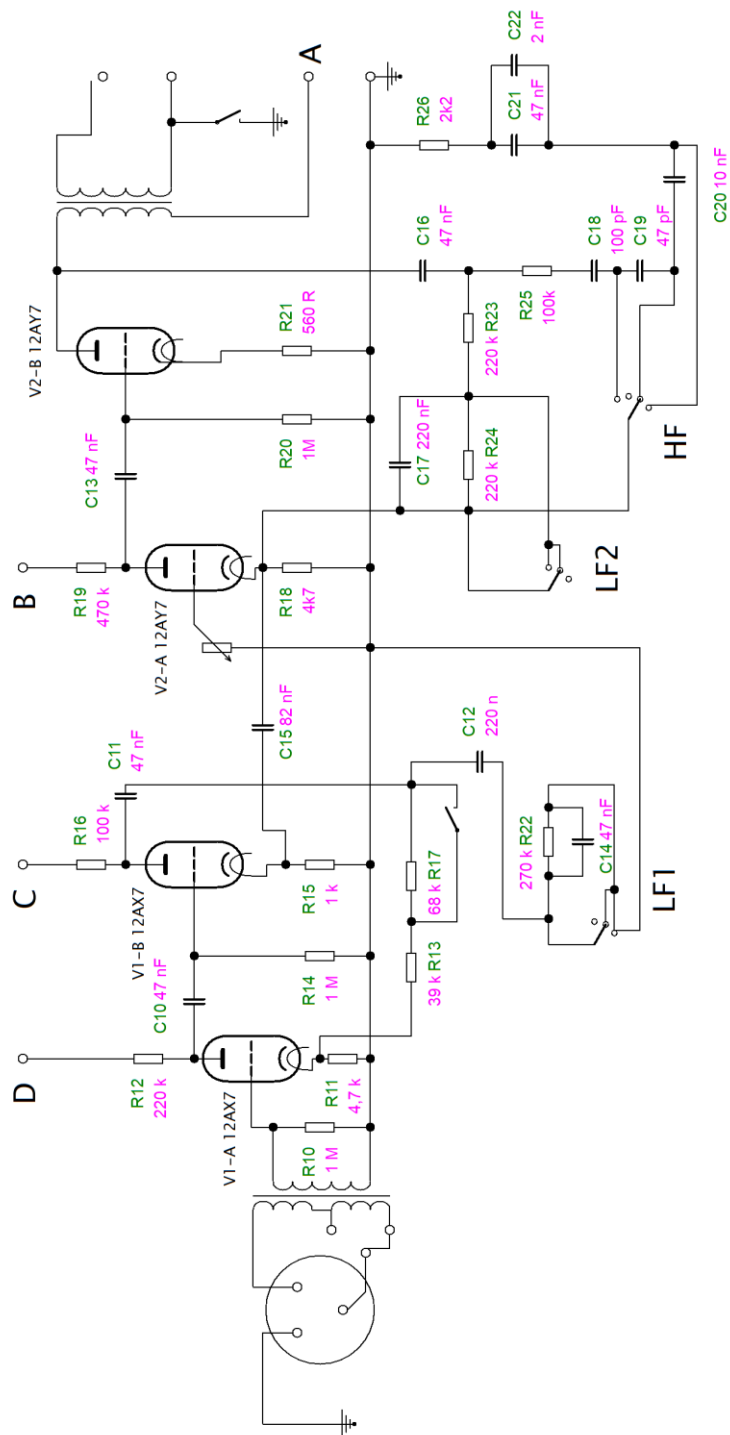
Bakalářská práce. Západočeská univerzita v plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra Aplikované elektroniky a telekomunikaci.

[27] BOUZEK, S. Konstrukce zesilovače pro kytaru. Plzeň, 2013. Bakalářská práce.

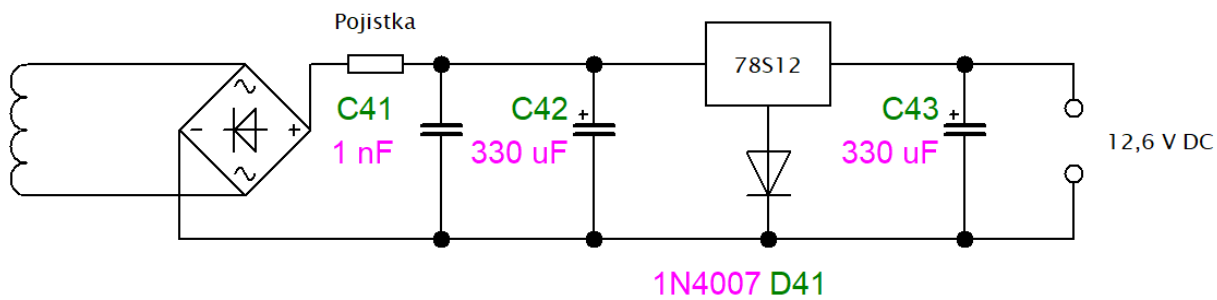
Západočeská univerzita v plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra Aplikované elektroniky a telekomunikaci.

# Příloha A

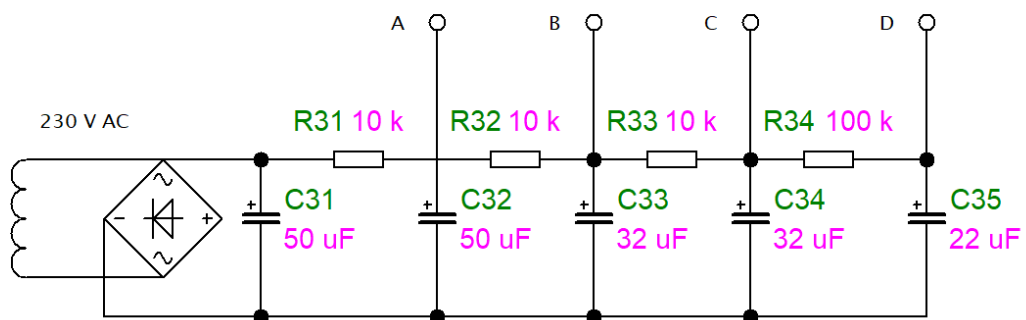
## Schéma zapojení



Obrázek A1 Schéma zapojení předzesilovače



Obrázek A2 Obvod stabilizátoru 78S12

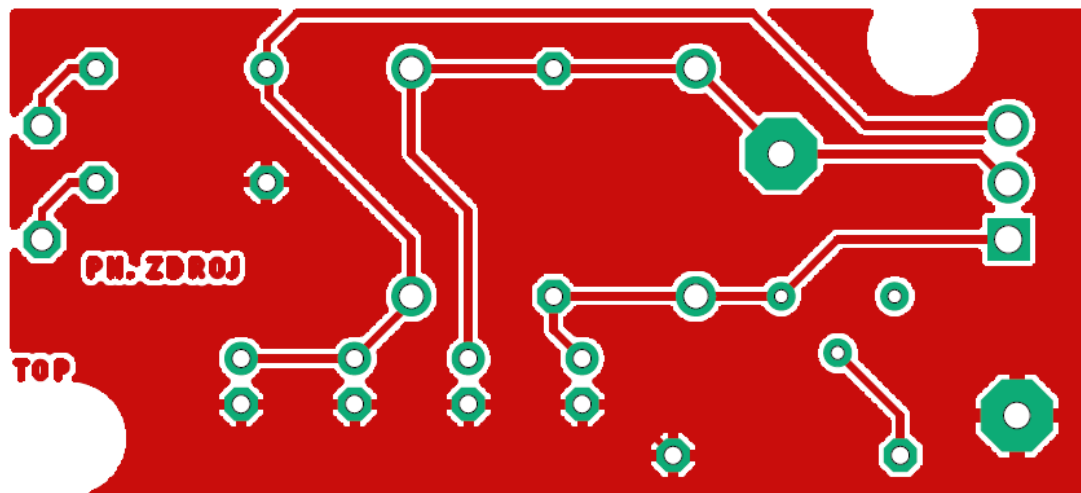


Obrázek A3 schéma zdroje



## Příloha B

### Deska plošného spoje



*Obrázek B1 Deska plošného spoje fantomového napájení*

## Příloha C

*Tab. C1 Seznam použitých součástek*

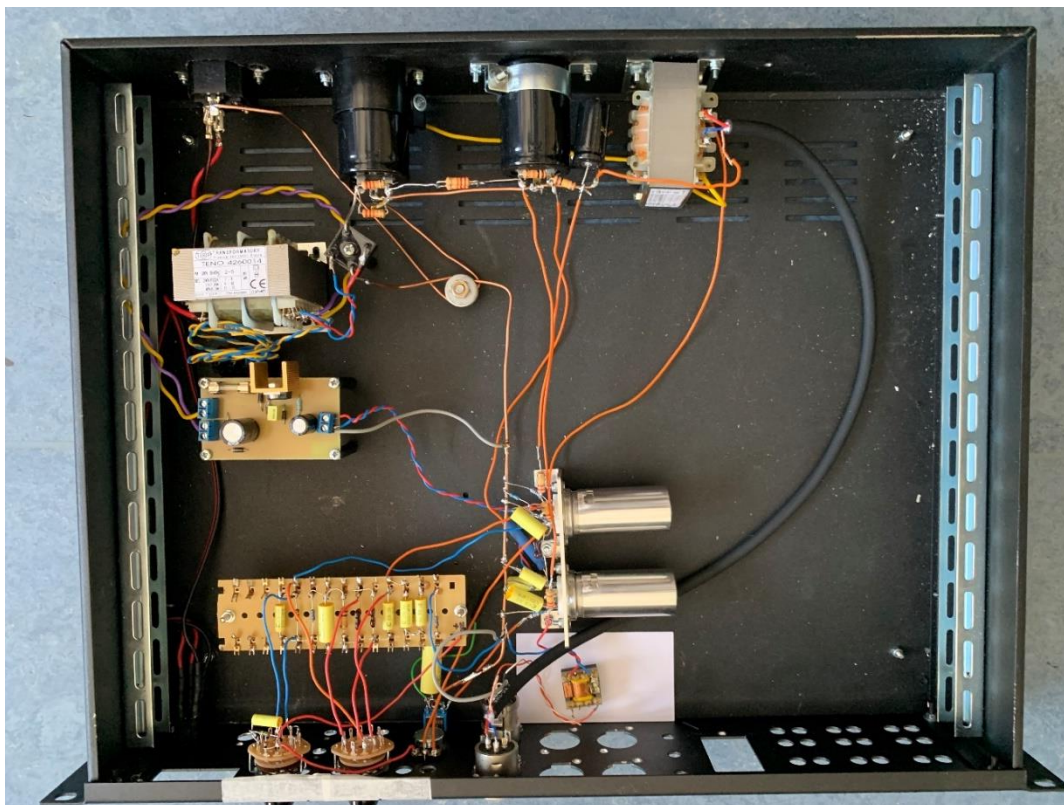
R1 82R	C13 47n
R2 1k	C14 47n
R3 2k7	C15 82n
R10 1M	C16 47n
R11 4k7	C17 220n
R12 220k	C18 100p
R13 39k	C19 47p
R14 1M	C20 10n
R15 1k	C21 47n
R16 100k	C22 2n
R17 68k	C31 50u
R18 4k7	C32 50u
R19 470k	C33 32u
R20 1M	C34 32u
R21 560R	C35 22u
R22 270k	C41 1n
R23 220k	C42 330u
R24 220k	C43 330u
R25 100k	D1 1N4004
R26 2k2	D2 1N4004
R31 10k	D41 1N4007
R32 10k	
R33 10k	
R34 100k	
C1 470u	
C2 470u	
C3 10u	
C4 10u	
C10 47n	
C11 47n	
C12 22n	

## Příloha D

### Fotografie dokončeného zařízení



*Obrázek D1 Pohled na dokončené zařízení*



*Obrázek D2 Pohled do otevřeného zařízení*