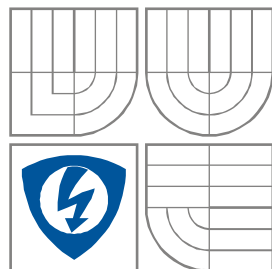


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

Vstupní nízkofrekvenční předzesilovač pro laboratorní výuku

Input audio preamplifier used for laboratory measurements

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

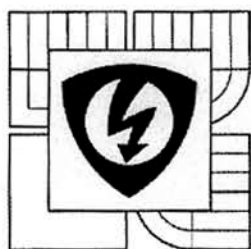
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ondřej Kučera

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Ondřej Kučera
Ročník: 3

ID: 151796
Akademický rok: 2014/15

NÁZEV TÉMATU:

Vstupní nízkofrekvenční předzesilovač pro laboratorní výuku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V teoretické části práce navrhnete koncepci a obvodové zapojení laboratorního přípravku stereofonního vstupního audio zesilovače pro předmět Nízkofrekvenční a audio elektronika. Přepokládejte nízkosumové konstrukční provedení zesilovače z diskretních prvků a operačních zesilovačů. Přípravek by měl umožňovat základní měření citlivosti a přebuditelnosti, vstupních kmitočtových korekcí, amplitudové frekvenční charakteristiky, přeslechu kanálů a odstupu rušivých napětí, harmonického zkreslení apod.

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

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.
[2] KOTISA, Z. NF zesilovače - 1. díl Předzesilovače. BEN - technická literatura, Praha, 2001.

Termín zadání: 9. 2. 2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

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

Konzultanti bakalářské práce:


doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá vstupním nízkofrekvenčním předzesilovačem pro laboratorní výuku. Úkolem bylo nastudovat, navrhnout a sestavit funkční řešení vstupního předzesilovače pro nízkofrekvenční audio elektroniku. V jednotlivých kapitolách jsou rozebrány různé předzesilovače s rozdělením podle parametrů zpracovávaného signálu. Konstrukce jednotlivých vstupů se zde řeší pomocí diskrétních součástek a operačních zesilovačů. V dalších kapitolách jsou zmíněny různé měřicí techniky zesilovačů, jako je vstupní citlivost, přenosová charakteristika, vstupní impedance a další měřicí postupy, kterými bude přístroj vybaven.

KLÍČOVÁ SLOVA

vstupní zesilovač; nízkofrekvenční technika; operační zesilovač; diskrétní součástky; RIAA korekce; vstupní citlivost; vstupní impedance; přenosová charakteristika; harmonické zkreslení; limitace vstupního napětí; přeslechy mezi kanály;

ABSTRACT

This article looks at pre-input low-frequency amplifiers for laboratory work. The task was to study, design and build a fully functional pre-input amplifier for use in low frequency audio technology. In each section, we will discuss the various preamps, which are classified according to signal processing parameters. The construction of each amplifier uses discrete components and operational amplifiers. The second part of the article looks at different measuring devices, such as input sensitivity, transfer characteristics and input impedance etc., which would form part of the amplifier.

KEYWORDS

Preamplifier; Low-frequency technology; operational amplifier; discrete components; RIAA correction; input sensitivity; input impedance; transmission characteristics; harmonic distortion; the limitations of the input voltage; crosstalk between channels;

Kučera, O. Vstupní nízkofrekvenční předzesilovač pro laboratorní výuku. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2015. 54 s., 36 s. příloh. Semestrální projekt. Vedoucí práce: doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma *Vstupní nízkofrekvenční předzesilovač pro laboratorní výuku* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury v závěru práce.

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

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	12
1 Blokové schéma vstupního nízkofrekvenčního předzesilovače	13
2 Šumové vlastnosti zesilovačů	15
2.1 Druhy šumu.....	16
2.2 Šumové vlastnosti reálných součástek a vliv zpětné vazby.....	18
3 Návrh jednotlivých bloků	22
3.1 Výběr součástek	22
3.2 Gramofonový vstup	23
3.3 Vstup LINE a AUX	27
3.4 Mikrofonní vstup (MIC)	31
4 Měřicí techniky	35
4.1 Přenosová „frekvenční“ charakteristika.....	35
4.2 Harmonické zkreslení	35
4.3 Limitace (přebuditelnost) výstupního napětí předzesilovače	36
4.4 Odstup cizích rušivých napětí.....	37
4.5 Přeslech mezi vstupy	38
5 Naměřené hodnoty zařízení	39
5.1 Frekvenční charakteristiky.....	39
5.2 Vstupní impedance	43
5.3 Harmonické zkreslení a THD+N	43
5.4 Přeslechy mezi jednotlivými vstupy a pravým, levým kanálem.	47
5.5 Přebuditelnost	50
6 závěr	51
Literatura	52
Seznam symbolů, veličin a zkratk	54
A.1 Laboratorní úloha.....	55

A.2	Schéma zapojení	79
A.3	Desky plošných spojů	83
A.4	Osazovací plány součástek	84
A.5	Seznam součástek	85
A.6	Foto přípravku.....	87
A.7	Průběhy z osciloskopu při oživování zařízení	88

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Blokové schéma vstupního nf předzesilovače	14
Obrázek 2.1 Výkonová spektrální hustota bílého šumu [5].....	15
Obrázek 2.2 Výkonová spektrální hustota růžového šumu [5].....	15
Obrázek 2.3 Náhradní schéma tepelného šumu odporu realizované připojením napěťového zdroje do a) série a proudového zdroje b) paralelně k odporu.[1]	17
Obrázek 2.4 a) Náhodné rozdělení proudu u tranzistoru, b) Náhradní schéma se zdrojem ekvivalentního šumu.[1]	18
Obrázek 2.5 Náhradní schéma šumu tranzistoru pro nf technice[1].....	19
Obrázek 2.6 Náhradní schéma šumu operačního zesilovače[2]	20
Obrázek 2.7 Blokové znázornění vlivu zpětné vazby[2]	21
Obrázek 3.1 Amplitudová a rychlostní RIAA charakteristika[3][8]	24
Obrázek 3.2 Gramofonový předzesilovač s OZ a korekcí RIAA.	25
Obrázek 3.3 Gramofonový předzesilovač s diskrétními prvky a korekcí RIAA z literatury [6].....	25
Obrázek 3.4 Časová analýza gramofonového vstupu pro frekvenci a) 1kHz b) 20kHz c) 20Hz.....	26
Obrázek 3.5 Simulace přenosové charakteristiky předzesilovače s RIAA korekcí.....	27
Obrázek 3.6 Tranzistorový vstupní zesilovač signálu LINE z literatury [10]	28
Obrázek 3.7 Vstupní OZ vstupního signálu LINE.	29
Obrázek 3.8 Smulace přenosové charakteristiky předzesilovače LINE	30
Obrázek 3.9 Časová analýza zesilovače LINE s výstupní úrovní signálu 1,5 V	31
Obrázek 3.10 Časová analýza zesilovače AUX s výstupní úrovní signálu 0,775 V	31
Obrázek 3.11 Směrové charakteristiky mikrofону	32
Obrázek 3.12 Řešení mikrofónového vstupního předzesilovače z literatury [7].....	33
Obrázek 3.13 Časová analýza mikrofónového zesilovače.....	34
Obrázek 3.14 Simulace přenosové charakteristiky mikrofónového předzesilovače.	34
Obrázek 4.1 Graf vlivu harmonického zkreslení 3 a 5 harmonickou složkou z literatury [15]	36
Obrázek 4.2 Vliv limitace na výstupním signálu z literatury	37
Obrázek 5.1 Modulová frekvenční charakteristika gramofonového vstupu.....	40

Obrázek 5.2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofonního vstupu.	40
Obrázek 5.3 Modulová frekvenční charakteristika vstupu LINE s OZ a DIS. prvky.....	42
Obrázek 5.4 Modulová frekvenční charakteristika vstupu AUX.	43
Obrázek 5.5 Vynesené hodnoty THD+N MIC vstupu.	44
Obrázek 5.6 Vynesené hodnoty THD+N Gramofonového vstupu s OZ a DIS.....	45
Obrázek 5.7 Vynesené hodnoty THD+N vstupu LINE s OZ a DIS.....	47

SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Jednotlivé typy OZ	22
Tabulka 2 Naměřené hodnoty gramofonového vstupu	39
Tabulka 3 Naměřené hodnoty mikrofonního zesilovače.	41
Tabulka 4 Naměřené hodnoty vstupu LINE.	41
Tabulka 5 Naměřené hodnoty vstupu AUX.	42
Tabulka 6 Naměřené hodnoty vstupní impedance jednotlivých vstupů.	43
Tabulka 7 Harmonické zkreslení a THD+N pro MIC a kmitočtem 1 kHz.....	44
Tabulka 8 Harmonické zkreslení a THD+N pro MIC a kmitočtem 4 kHz.....	44
Tabulka 9 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s OZ a kmitočtem 250 Hz.....	45
Tabulka 10 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s OZ a kmitočtem 1 kHz.....	45
Tabulka 11 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s DIS. prvky a kmitočtem 250 Hz.....	45
Tabulka 12 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s DIS. prvky a kmitočtem 1 kHz.....	46
Tabulka 13 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s DIS. prvky a kmitočtem 1 kHz.....	46
Tabulka 14 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s DIS. prvky a kmitočtem 8 kHz.....	46
Tabulka 15 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s OZ a kmitočtem 1kHz.....	46
Tabulka 16 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s OZ a kmitočtem 8 kHz.....	46
Tabulka 17 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály zesilovače LINE s OZ.	48
Tabulka 18 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály zesilovače LINE DIS.	48
Tabulka 19 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály MIC zesilovače.	48
Tabulka 20 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a MIC.....	48
Tabulka 21 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a gram. s OZ.	49

Tabulka 22 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a gram. s DIS.	49
Tabulka 23 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupem LINE s OZ a LINE s DIS.	49

ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem nf předzesilovače pro laboratorní výuku do předmětu nízkofrekvenční audiotechnika. Přípravek je vybaven šesti vstupy pro zpracování různých signálů. Každý zpracovávaný signál má jinou úroveň napětí, proto je potřeba zpracovávat každý signál jiným způsobem. Některé vstupy jsou řešeny pomocí diskrétních součástek a operačním zesilovačem. Zapojení předzesilovače je navrženo tak, aby splňovalo požadovanou výstupní úroveň napětí. Vstup LINE je konstruován tak, aby umožňoval regulaci výstupního signálu. Celkové zařízení je konstruováno tak, aby dosahovalo malých hodnot šumu.

První kapitola se zabývá blokovou strukturou přípravku a výběrem použitých součástek. Pro ověření funkčnosti navrženého obvodu byl použit program Orcad Spice. Druhá kapitola obsahuje rozbor všech zpracovávaných signálů, obvodové řešení a časové střídavé a stejnosměrné analýzy. Další kapitola se zabývá základními parametry vstupních nf zesilovačů, jako jsou například vstupní impedance frekvenční charakteristiky, harmonické zkreslení, přebuditelnost a přeslechy mezi kanály či vstupy. Poslední kapitola se zabývá naměřenými hodnotami výsledného zařízení.

1 BLOKOVÉ SCHÉMA VSTUPNÍHO NÍZKOFREKVENČNÍHO PŘEDZESILOVAČE

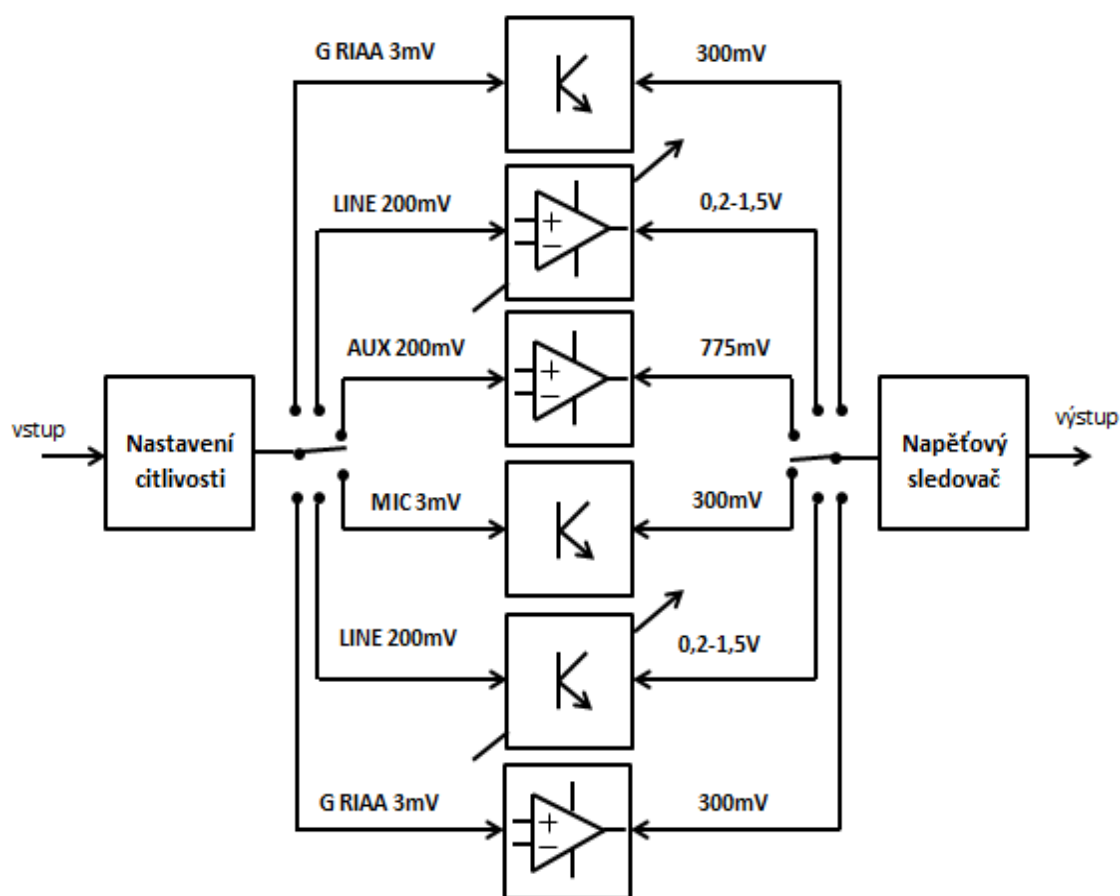
Hlavním účelem této práce bylo navrhnout a sestavit nf vstupní zesilovač pro laboratorní účely do předmětu Nízkofrekvenční audio elektronika. Laboratorní přípravek bude vybaven odporovým děličem pro nastavení citlivosti vstupního signálu. Následně bude pomocí přepínače tento signál přiveden na jeden z šesti vstupů. Přípravek obsahuje (viz Obrázek 1.1) dva gramofonové vstupy s OZ a diskretními součástkami. Z obrázku je vidět, že vstupní signál gramofonového vstupu má hodnotu 3mV a výstupní úroveň 300 mV. Vstup LINE bude realizován zapojením s OZ a diskretními součástkami. Jeho vstupní napětí bylo zvoleno 200 mV. Vstup LINE bude mít nastavitelné zesílení od 200 mV do 1,5 V. Řešení vstupu AUX je podobné jako u LINE. Hodnota výstupního napětí je nastavena na stálou hodnotu 775 mV. Poslední částí přípravku bude mikrofonní vstup tvořený diskretními součástkami a výstupní úrovní signálu 300 mV. Napěťový sledovač bude mít za úkol pouze impedančně oddělit výstupy jednotlivých vstupů od následujících bloků. Výsledné zařízení bude stereofonní.

Přípravek bude mimo jiné vybaven dvojitým RC filtrem pro odrušení vyšších rušivých kmitočtů z generátoru signálu a LC filtrem pro zabránění rušení ze zdroje napájecího napětí.

Nastavení citlivosti vstupního signálu bude fungovat na principu napěťového děliče. V základním stavu nebude levý ani pravý vstup připojen na tento dělič, připojení děliče se bude provádět dvoustavovým přepínačem. Současně může být na vstup odporového děliče přiveden pouze levý nebo pravý vstup. Jednotlivé odpory budou zapojeny do série a jejich hodnota bude vždy desetina hodnoty předchozího odporu. To znamená, že první odpor bude mít hodnotu 100 k Ω a následující bude mít 10 k Ω . Vstupní signál bude možné nastavovat v rozsahu od 0,3 mV do 3 V pro gramofon, mikrofón a pro ostatní vstupy bude úroveň signálu od 0,2mV do 2 V. Volbu vstupní citlivosti bude zajišťovat přepínač P-DS3. Protože spínač má 3x4 stavu a pro náš případ budou postačovat jenom dvě čtveřice pinů, jedna čtveřice pro výstup z děliče a druhá pro rozvod vybraného signálu do levého či pravého vstupu, jeden segment konektorů bude nevyužitý.

Konstrukce zařízení bude umožňovat měření základních parametrů předzesilovačů, jako je citlivost, přenosová charakteristika, přeslech mezi vstupy, vstupní impedance, harmonické zkreslení, odstup rušivých napětí a limitace vstupního napětí. Jednotlivá měření jsou rozebrána v kapitole Měřicí techniky.

Přepínání vstupů bude prováděno pomocí přepínače P-DS2, který umožňuje volbu až mezi 6x2 stavů. Pomocí otočného spínače se bude provádět volba vstupů, které budou buzeny. Jedna šestice spínačů bude ovládat vstupy pro levý kanál a zároveň druhá šestice bude spínat pravý kanál. Volba výstupu z předzesilovačů bude koncipována stejně jako u vstupů. Zvolený koncept umožní měření přeslechů mezi vstupy i mezi kanály.



Obrázek 1.1 Blokové schéma vstupního nf předzesilovače

Legenda:

G - Gramofonový vstup s RIAA korekcí a zesílením 100x. Řešený pomocí diskretních součástek a OZ.

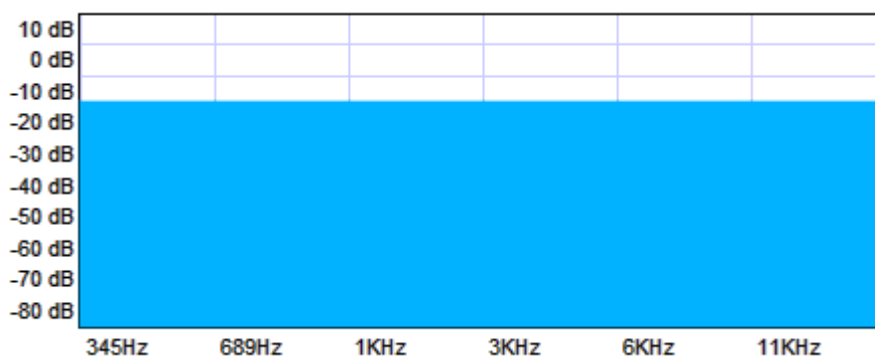
LINE - Linkový vstup s možností nastavení zesílení od 0,775 do 1,5 V. Řešený pomocí OZ a diskretních součástek.

AUX - Vstup řešený pomocí OZ se zesílením 3,9x.

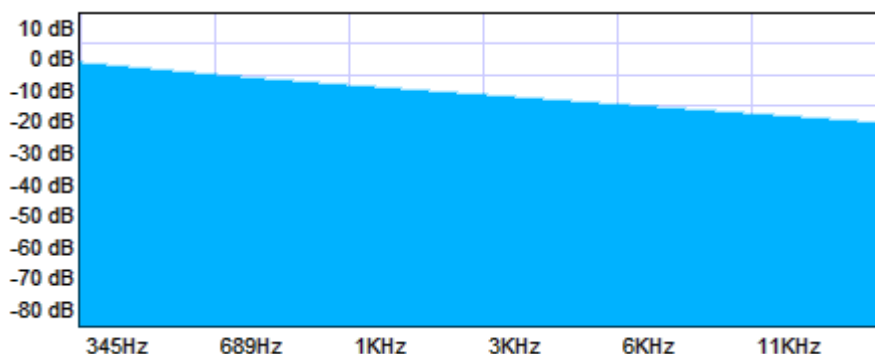
MIC - Mikrofonní vstup se zesílením 100x. Řešený pomocí diskretních součástek.

2 ŠUMOVÉ VLASTNOSTI ZESILOVAČŮ

Šum je náhodný signál, jehož amplituda nabývá různých hodnot a nepříznivě působí na užitečný signál. Podle umístění šumu rozeznáváme dva druhy, interní nebo externí. Interní šum je takový, kde zdrojem rušivého signálu je součástka umístěná v zapojení. Jakékoliv rušení působící na analyzovaný obvod z okolí je externí šum. V elektronických obvodech se převážně vyskytují dva druhy šumu. První z nich se nazývá bílý, jeho spektrum má rovnoměrně rozmístěné kmitočtové složky a hustota spektra je konstantní v celém rozsahu. Druhým zdrojem rušení je barevný šum, ten má náhodně rozmístěné kmitočtové složky ve spektru a jeho spektrální hustota není konstantní v celém frekvenčním rozsahu. Na obrázku (viz Obrázek 2.1) je vidět spektrum bílého a růžového šumu (viz Obrázek 2.2). U růžového šumu je vidět, že jeho spektrum s rostoucí frekvencí klesá. V praxi je mnohem jednodušší simulovat růžový šum díky jeho kmitočtovému omezení. [1]



Obrázek 2.1 Výkonová spektrální hustota bílého šumu [5]



Obrázek 2.2 Výkonová spektrální hustota růžového šumu [5]

Šum je možné modelovat pomocí zdroje napětí nebo proudu v místě jeho vzniku. Například šum odporu lze modelovat zdrojem napětí zapojeného v sérii s daným odporem nebo připojením proudového zdroje paralelně k rezistoru.

Protože se jedná o nízkošumové provedení, je zapotřebí dbát na různé druhy rušení. Jednotlivé bloky jsou konstruovány tak, aby se navzájem neovlivňovaly. V praxi to znamená použití symetrického vedení, které ve velké míře dokáže zlepšit šumové

vlastnosti. K dalšímu rušení dochází při přepínání vstupního signálu. Přepínání může být mechanické pomocí přepínačů nebo použitím tranzistorů, například CMOS nebo JFET. V tomto případě je pro změnu signálu použit nejjednodušší způsob, a to mechanický přepínač 2x6 poloh, a bude zároveň dodávat signál do levého i pravého kanálu vybraného vstupu. Pro zlepšení šumových vlastností předzesilovače jsou použity metalizované rezistory a nízkošumové operační zesilovače. Výběrem součástek se podrobněji zabývá podkapitola (3.1). [2]

2.1 Druhy šumu

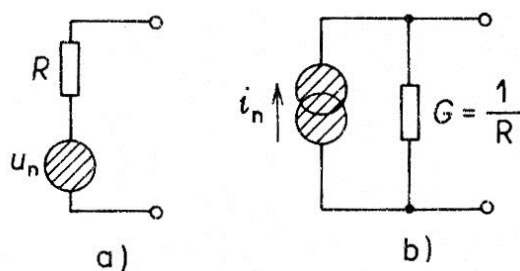
2.1.1 Tepelný (Johnsonův) šum

Vzniká v důsledku nárůstu tepla, díky kterému se ve vodičích pohybují volné elektrony. Při nenulové teplotě vykonávají volné nosiče náboje chaotický “Brownovský pohyb”. Shlukování více volných nosičů náboje na jednom místě má za následek vznik elektrického potenciálu. Tepelný šum je závislý na teplotě okolí a na teplotě samotného vodiče. Rostoucí teplota vyvolá nárůst rychlosti pohybu volných nosičů náboje, a to má za následek zvýšení teplotního šumu. Pokud jsou teplota a odpor konstantní, je tepelný šum stacionární proces s Gaussovským rozdělením výkonového spektra. To znamená, že tepelný šum můžeme aproximovat bílým šumem. Zdrojem tohoto šumu je odpor. Tepelný šum můžeme realizovat připojením zdroje napětí do série k danému odporu (viz Obrázek 2.3a) nebo připojením proudového zdroje paralelně k odporu (viz Obrázek 2.3b). Celkový tepelný šum v daném frekvenčním rozsahu je dán Nyquistovým vztahem (2.1) a (2.2) [3]

$$U_T = \sqrt{4kTR(\omega)\Delta f} \quad (2.1)$$

$$I_T = \sqrt{4kTG(\omega)\Delta f} \quad (2.2)$$

U_T	napěťový šum,
I_T	proudový šum,
k	Boltzmanova konstanta [J/K],
T	teplota [K],
R	odpor [Ω],
G	vodivost [S],
Δf	frekvenční rozsah [Hz].



Obrázek 2.3 Náhradní schéma tepelného šumu odporu realizované připojením napětového zdroje do a) série a proudového zdroje b) paralelně k odporu.[1]

2.1.2 Výstřelový šum (Shot noise)

Je šum určený vlivem impulsů proudu, které vznikají průchodem nosičů náboje PN přechodem. Díky diskrétním vlastnostem nosičů se ke střední hodnotě proudu tvořeného impulsy I_0 superponuje šumový proud i_n . Výstřelový šum lze pozorovat například při toku fotonů v laserovém paprsku nebo při rekombinaci elektronů a děr v PN přechodu. Z důvodu náhodného pohybu nabitých částic se pro jeho popis využívá Poissonovo rozdělení pravděpodobnosti. Spektrum šumu je dáno vztahem (2.3) [4]

$$S_{in}(\omega) = 2qI_0|s_i^*(j\omega)| \quad (2.3)$$

q náboj každého impulsu proudu,

I_0 střední hodnota proudu tvořeného impulsy,

s_i^* normované spektrum elementárního impulsu.

Výstřelový šum není závislý na teplotě, proto ho není možné snižovat pomocí chlazení, tak jako tomu bylo u tepelného šumu. Ten může vzniknout i v případě, že není připojené napájení, to u výstřelového šumu neplatí. Z toho plyne, že výstřelový šum je vázaný pouze na stejnosměrný proud a nelze mu zcela zamezit, stejně jako tepelný šum vzniká v důsledku přirozeného pohybu částic. [2]

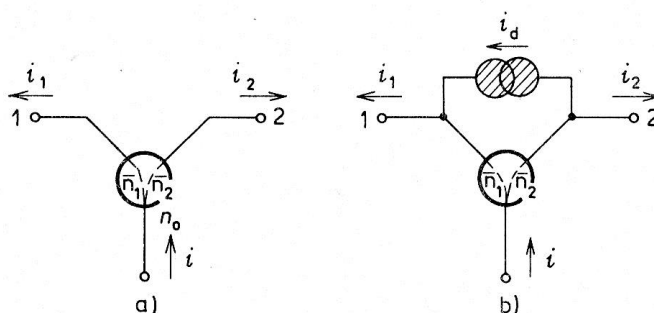
2.1.3 Partitivní šum

Vyskytuje se často u aktivních prvků a vyplývá z náhodného rozdělení proudu mezi dvěma obvody. Šum se projevuje u bipolárních tranzistorů, kde nosiče injektované v emitoru mohou rekombinovat v bázi s pravděpodobností λ . Pravděpodobnost, že nosiče dosáhnou kolektoru je $1-\lambda$. Na obrázku (viz Obrázek 2.4) dochází k rozdělení proudu i mezi větve 1 a 2. Za jednotku času se do větve 1 přesune n_1 nosičů. Pokud se v danou dobu vyskytuje v oblasti rozdělení n_0 nosičů, znamená to, že do větve 2 se přenáší n_2 nosičů podle vztahu (2.4) [3] [1]

$$n_2 = n_0 - n_1. \quad (2.4)$$

Pravděpodobnost vstupu nosičů do větve 1 za jednotku času je dána vzorcem (2.5)

$$P_n(n_1) = \frac{n_0!}{n_1!(n_0!-n_1!)} \lambda^{n_1} (1-\lambda)^{n_0-n_1} \quad (2.5)$$



Obrázek 2.4 a) Náhodné rozdělení proudu u tranzistoru, b) Náhradní schéma se zdrojem ekvivalentního šumu.[1]

2.1.4 Šum typu 1/f (blikavý šum)

Vyskytuje se u aktivních součástek na nízkých kmitočtech, jeho velikost nepřímo závisí na frekvenci. Vzniká vlivem zachycování nosičů náboje pastmi vyskytujícími se v oxidové vrstvě u povrchu polovodiče. Pravděpodobnost zachycení nosiče náboje je dána vzdáleností pasti od povrchu, tvarem a výškou potenciálové bariéry mezi polovodičem a pastí. Spektrum hustoty výkonu klesá s rostoucím kmitočtem. Spektrum je dáno vztahem (2.6)

$$S_{if}(\omega) = \frac{S_{if}(1)}{\omega} \quad (2.6)$$

S_{if} Hodnota spektrální funkce při jednotkovém kmitočtu

2.1.5 Praskavý šum (Popcorn noise)

Vyskytuje se v přechodu tranzistoru báze-emitor a je způsoben znečištěním emitoru ionty těžkých kovů. Způsobuje skoky mezi diskrétními šumovými úrovněmi. Projevuje se v obvodech s vysokými vstupními impedancemi.

2.2 Šumové vlastnosti reálných součástek a vliv zpětné vazby

2.2.1 Šum bipolárních tranzistorů

Neustálé zdokonalování technologie výroby bipolárních tranzistorů nám umožňuje jejich použití i v obvodech s malými vstupními signály, jako jsou například vstupní zesilovače a směšovače. Šumové vlastnosti dosahují dobrých hodnot ve velkém kmitočtovém rozsahu, můžeme je využívat v rozsahu od jednotek hertz až po gigahertz.

Na obrázku (viz Obrázek 2.5) je vidět náhradní schéma tranzistoru zapojeného se společnouází, použijeme ho k odvození základních šumových vlastností tranzistoru. Použité náhradní schéma lze použít pro kmitočty do desítek kilohertz. Na vyšších frekvencích by se u tranzistoru začaly uplatňovat parazitní kapacity. Nejhorších hodnot šumu $1/f$ dosáhneme při použití zdroje signálu s vysokým vnitřním odporem. Na obrázku je tento vliv charakterizován zdrojem i_f , zapojeným paralelně ke zdroji signálu. Tepelný šum je ve schématu nahrazen zdrojem napětí u_t a vypočítá podle vzorce (2.7)

$$\overline{u_t^2} = 4kT \Delta f r_b \quad (2.7)$$

r_b odpor báze.

Výstřelový šum báze a emitoru je zde zakreslen proudovými zdroji i_b a i_c . Jejich hodnota je na nízkých kmitočtech dána vztahy (2.8) a (2.9)

$$\overline{i_b^2} = 2q \Delta f I_B \quad (2.8)$$

$$\overline{i_c^2} = 2q \Delta f I_C \quad (2.9)$$

Celkové šumové číslo bipolárního tranzistoru je dáno vztahem (2.10)

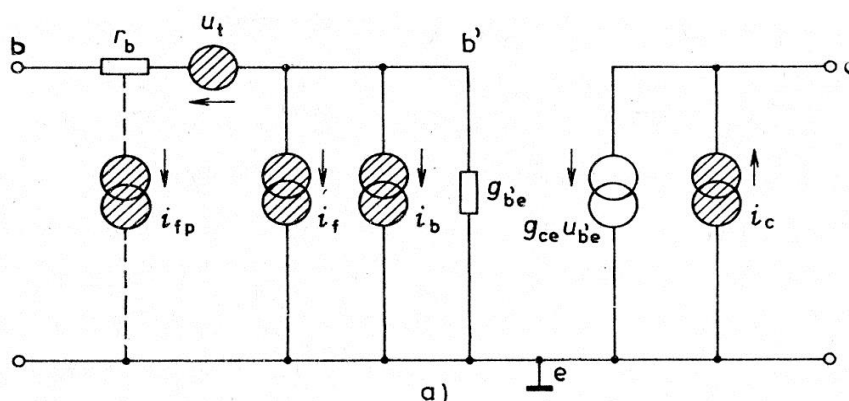
$$F = 1 + \frac{r_b}{R_g} + \frac{I_C(R_g + r_b)^2}{2U_T h_{21E} R_g} + \frac{I_C \left(R_g + r_g + \frac{h_{21E} U_T}{I_C} \right)^2}{2U_T h_{21E} R_g} \quad (2.10)$$

h_{21E} proudový zesilovací činitel,

U_T teplotní napětí 26mV,

R_g vnitřní odpor zdroje signálu,

I_C kolektorový proud.



Obrázek 2.5 Náhradní schéma šumu tranzistoru pro nf technice[1]

2.2.2 Šum operačních zesilovačů

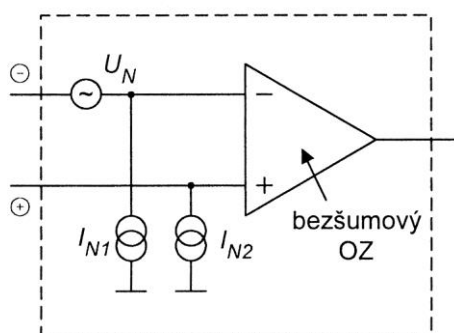
Každý OZ disponuje mnoha zdroji šumu, náhradní schéma (viz Obrázek 2.6) nám umožňuje přepočítat šum na vstup OZ. Díky tomu dostáváme šumový model OZ, který nám přímo určuje poměr signálu k šumu na vstupu OZ. Nejčastěji se udává spektrální šumová hustota v pásmu kmitočtů do 1 kHz. V tomto rozmezí převládá šum typu $1/f$ a pro jeho výpočet platí vztahy (2.10) a (2.11)

$$u_n = \frac{U_n}{\sqrt{B}} \quad (2.10)$$

$$i_n = \frac{I_n}{\sqrt{B}} \quad (2.11)$$

Protože se v OZ vyskytuje několik druhů šumu, musíme sečíst druhé mocniny efektivních hodnot jednotlivých šumů. Pokud bychom měli v zapojení dva zdroje napětového šumu a jeden proudový, pak by se celková hodnota vypočítala podle vztahu (2.12)

$$U_N^2 = U_{N1}^2 + U_{N2}^2 + (RI_n)^2 \quad (2.12)$$



Obrázek 2.6 Náhradní schéma šumu operačního zesilovače[2]

2.2.3 Zpětná vazba

Využívá se ke zlepšení stability zesilovače, přenáší část výstupní energie na vstup. Pokud je fáze přenášené energie shodná se vstupní, jedná se o kladnou zpětnou vazbu. V druhém případě se část energie dostává na vstup s opačnou fází, takové zpětné vazbě říkáme záporná. V reálných obvodech nejsme schopni vždy jednoznačně říci, o jakou zpětnou vazbu se jedná, a to vlivem parazitních členů RC i neideálních vlastností OZ. Proto je fázový posun ve smyčce kmitočtově závislý, může se stát, že se zvyšováním frekvence záporná zpětná vazba změní na kladnou. Pokud se tedy mění fáze se změnou kmitočtu, může dojít k oscilacím, z čehož vyplývá špatná stabilita.

Z obrázku (viz Obrázek 2.7) můžeme odvodit rovnice (2.13) a (2.14)

$$\overline{u_1} = k_1 \overline{u_i} + \overline{\beta} \overline{u_o} \quad (2.13)$$

$$\bar{u}_o = \bar{A}_u \bar{u}_1 \quad (2.14)$$

Z těchto vztahů můžeme určit zisk struktury $\bar{A}_z$, který je vyjádřený vztahem (2.15)

$$\bar{A}_z = \frac{\bar{u}_o}{\bar{u}_i} = \frac{\bar{k}_1 \bar{A}_u}{(1 - \bar{\beta} \bar{A}_u)} \quad (2.15)$$

$\bar{\beta}$ činitel zpětné vazby

k_1 přenosová konstanta vstupního obvodu.

Činitel zpětné vazby nám udává míru přenosu z výstupu na vstup. Pro stabilitu systému musí platit vratný rozdíl podle vztahu (2.16)

$$1 - \bar{\beta} \bar{A}_u \neq 0 \quad (2.16)$$

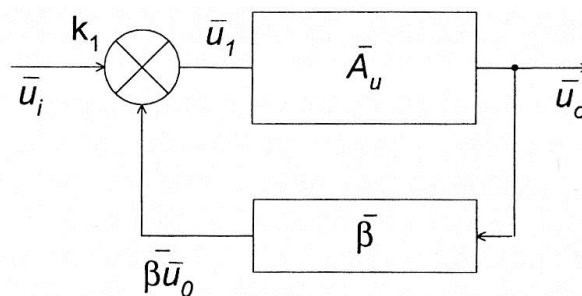
A zároveň z toho plyne podmínka pro zisk zpětné vazby (2.17)

$$\bar{\beta} \bar{A}_u \neq 1 \quad (2.17)$$

Z tohoto vyplývá Nyquistovo kritérium stability.

Nestabilní zpětnou vazbu můžeme korigovat pomocí frekvenčně závislého zesílení $\bar{A}_u$ tak, aby byla podmínka stability splněna. Pro stabilitu systému vyžadujeme, aby úhel fázové jistoty byl větší než 30° , čehož dosahujeme zavedením korekčních kapacit.

Můžeme tedy říci, že čím je větší vratný rozdíl, tedy i menší zesílení, tím je větší přenášené pásmo a OZ se blíží k oblasti nestability. To můžeme napravit zavedením malé parazitní časové kapacity, která způsobí posuv fáze.



Obrázek 2.7 Blokové znázornění vlivu zpětné vazby[2]

3 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH BLOKŮ

3.1 Výběr součástek

Při návrhu OZ je potřeba si nejprve určit, jaký typ použijeme. Na výběr máme spoustu možností s cenou pohybující se od 10 Kč do 300 Kč. Nejvhodnější pro danou konstrukci nf předzesilovače jsou OZ od firem Texas Instruments, Analog devices a Semiconductor. V tabulce (viz Tabulka 3.1) jsou uvedeny OZ, které je možné použít. Údaje o OZ se nacházejí na internetových stránkách [6].

Tabulka 3.1 Jednotlivé typy OZ

Typ OZ	OP27	NE5532	LME49710	NE5534
Výrobce	Analog devices	Texas Instruments	Semiconductor	Texas Instruments
U_n [nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	3,	5	2,5	3,5
I_n [pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	0,4	0,7	1,6	0,6
Počet obvodů	1	2	1	1
Cena [Kč]	42	8	45	10

Jedním z nejdůležitějších parametrů při výběru OZ byla cena a snadná dostupnost. Protože je přípravek určený pro práci do laboratoří, kde se může snadno poškodit, byly použity OZ od firmy Texas Instruments, které jsou snadno dostupné a jejich cena je nízká. Mimo jiné jejich parametry dosahují podobných hodnot jako výrobky ostatních výrobců. Velkou výhodou je i to, že OZ NE5532 je vybaven dvěma obvody ve svém pouzdře.

V obvodech s diskrétními prvky byly použity bipolární tranzistory BC546 a BC560. Tranzistory BC546 mohou být typu A, B nebo C. Rozdíl je pouze ve velikosti zesílení. Typ A má zesilovací činitel h_{21E} v rozmezí od 110 do 220. Tranzistor BC546B má zesilovací činitel h_{21E} od 200 do 450 a poslední typ C je charakteristický největším zesilovacím činitelem h_{21E} a to od 450 do 900.

Některá schémata s diskrétními prvky byla převzata z různých zdrojů, především z literatury[7]. U takových schémat byly už jen dopočítány hodnoty součástek a upraveny přenosové charakteristiky.

3.2 Gramofonový vstup

Zdrojem tohoto signálu je gramofonová deska. Záznam se z desky přenáší pomocí hrotu, který se nachází nad deskou, díky rotaci desky dochází ke čtení dat. Výstupní napětí je úměrné rychlosti nebo vychýlení nebo rychlosti hrotu. U rychlostních přenosek s rostoucí frekvencí roste i napětí na výstupu gramofonu. Z tohoto důvodu se provádí potlačení vyšších frekvencí. Tato úprava přenosové charakteristiky se realizuje pomocí korekce RIAA. To má za následek i zlepšení odstupu užitečného signálu od šumu. Výchylkové přenosky dokážou samy dostatečně kompenzovat výstupní charakteristiku. Proto se u nich nepoužívá korekce. Jedná se o nesymetrický vstup, který má jeden aktivní vodič a ten je omotaný kolem dokola dalším vodičem. Tento vnější vodič se nazývá stínění.[8]

V dnešní době rozeznáváme dva druhy přenosek. Do první kategorie řadíme přenosky piezoelektrické (krystalové, keramické) nebo kondenzátorové. Tyto přenosky reagují na změnu amplitudy záznamu a jsou velmi citlivé na nárazy z důvodu poškození výbrusů desky. Princip piezoelektrické přenosky spočívá v přeměně mechanické výchylky hrotu na napětí. Z čehož plyne, že okamžitá hodnota napětí je úměrná velikosti mechanické výchylky. Proto se těmto přenoskám říká výchylkové. Velkou výhodou těchto přenosek je, že dokážou samy kompenzovat záznamovou charakteristiku a nepotřebují žádnou korekci. Krystalové přenosky se vyznačují velkou vstupní impedancí, řádově několik megaohmů, takto velká impedance je potřeba proto, že krystal je velmi slabý zdroj a chová se jako elektrostatický náboj.[3][8]

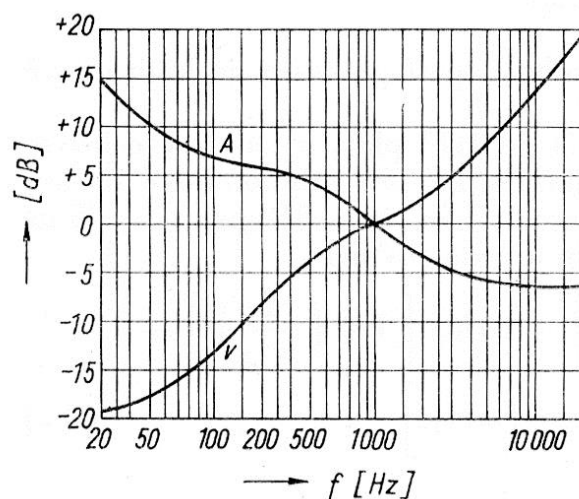
Do druhé skupiny se řadí přenosky rychlostní, jako například elektromagnetické nebo magnetodynamické. Existuje spousta elektromagnetických měničů, kdy se pohybuje cívka v poli permanentního magnetu nebo se pohybuje součást magnetického obvodu, který má na svých pólových nástavcích navinutou cívku. Tyto dva principy nám udávají základní typy těchto přenosek, a to MM (s pohyblivým magnetem), MC (s pohybující se cívkou). Jejich výhodou je minimální setrvačnost pohyblivých částí. Proto jim stačí desetkrát menší přitlačná síla než u piezoelektrických přenosek k tomu, aby dostatečně kopírovaly povrch drážky. Tato vlastnost má i kladný vliv na deformaci tvaru drážky na desce, která vydrží podstatně déle než u prvního typu. Výstupní signál je velmi malý, řádově u MC 1 mV a u MM 3-10 mV. Vstupní impedance drtivě většiny MM přenosek je v dnešní době 47 kΩ. Rychlostní se jim říká proto, že výstupní napětí je úměrné rychlosti záznamu. Pro převod mezi rychlostí a amplitudou záznamu platí vztah (3.1) [3][8]

$$v_m = \omega A \quad [\text{cm/s}; 1/\text{s}, \text{cm}] \quad (3.1)$$

v_m maximální rychlost záznamu,

A amplituda záznamu.

Z toho plyne, že amplituda výstupní charakteristiky přenosky je kmitočtově závislá. Na obrázku (viz Obrázek 3.1) je vidět závislost mezi rychlostí snímací hlavy v a reprodukční kmitočtovou charakteristikou A .



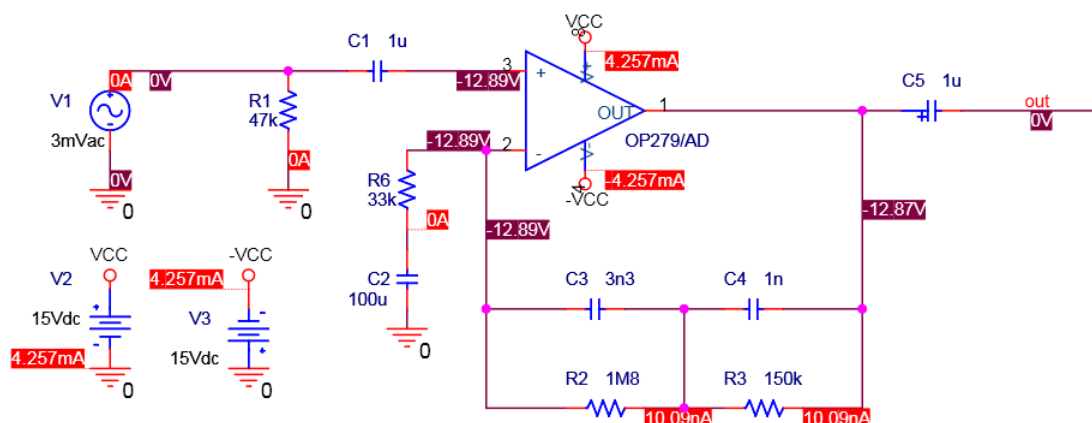
Obrázek 3.1 Amplitudová a rychlostní RIAA charakteristika[3][8]

3.2.1 Návrh pomocí OZ

Zapojení OZ (viz Obrázek 3.2) bylo řešeno pomocí literatury [9][10], kde jsou popsána základní zapojení OZ. Hodnoty součástek jsou vypočítány tak, aby se dosáhlo potřebného zesílení. Citlivost OZ musí být dostatečně velká, aby i při malé úrovni užitečného signálu, jakým je gramofonový, tj. 3 mV, nedocházelo ke zkreslení výstupního signálu vlivem šumu na vstupu zesilovače. Proto byl použit integrovaný obvod NE5532, který obsahuje ve svém pouzdře dva obvody. Proto lze využít OZ pro levý i pravý kanál.

Na vstupu obvodu je umístěn vazební kondenzátor C1 k potlačení stejnosměrné složky. Jak bylo již zmíněno na začátku kapitoly, přenosky s pohyblivým magnetem vyžadují vstupní impedanci zesilovače 47 kΩ. Tuto hodnotu zajišťuje odpor R1. OZ je napájen stejnosměrným napětím +15V a -15V. Zesílení obvodu je dáno poměrem odporu R6 a celkového odporu RIAA podle vztahu (3.2). Výsledný odpor R4 byl experimentálně určen pomocí simulace.

$$Au = 1 + \frac{R_{RIA A}}{R4} \quad [-] \quad (3.2)$$

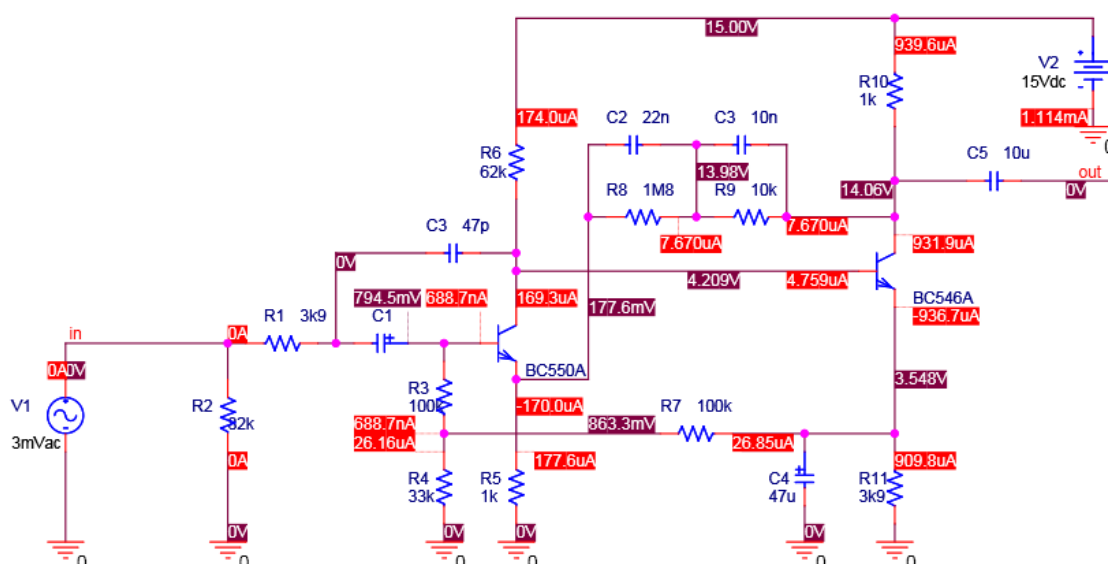


Obrázek 3.2 Gramofonový předzesilovač s OZ a korekcí RIAA.

3.2.2 Návrh pomocí diskretních součástek

Při řešení zapojení pomocí diskretních součástek (viz Obrázek 3.3) bylo použito schéma, které se nacházelo na internetových stránkách [11]. Hodnoty součástek byly poté upraveny tak, aby výsledné charakteristiky a parametry předzesilovače splňovaly zadání. V zapojení jsou použity tranzistory BC546A, které disponují velkou šířkou pásma a nízkým šumem.

V zapojení s diskretními součástkami (viz Obrázek 3.3) odpor R1 upravuje vstupní impedanci na hodnotu 47 k Ω . RIAA korektor zde tvoří kondenzátory C3, C4 a rezistory R7, R8 a jeho přenosová charakteristika se od normy neodchyluje o více jak 1,6 dB.



Obrázek 3.3 Gramofonový předzesilovač s diskretními prvky a korekcí RIAA z literatury [6]

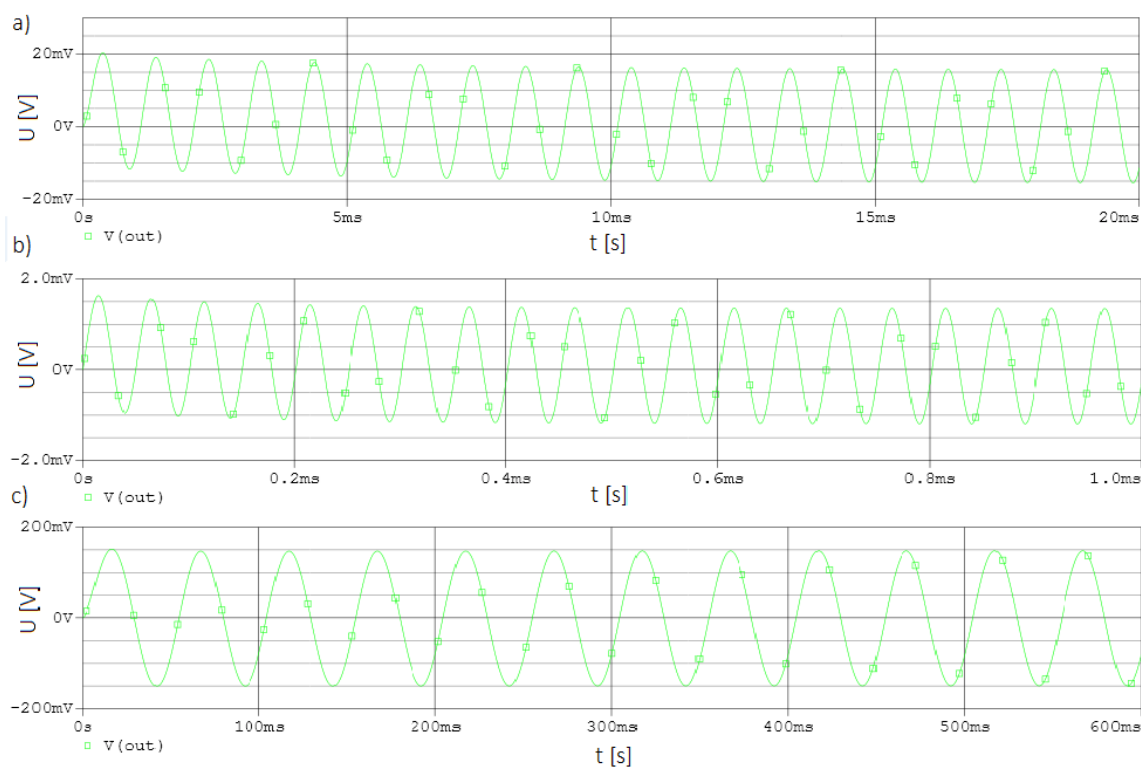
3.2.3 Simulace

Ze simulace, (viz Obrázek 3.5) jsou znatelné časové konstanty τ , které odpovídají zlomovým frekvencím RIAA charakteristiky. Hodnoty časových konstant jsou $\tau_1 = 3180 \mu\text{s}$, $\tau_2 = 318 \mu\text{s}$ a $\tau_3 = 75 \mu\text{s}$. Tyto konstanty vyháží ze vztahu (3.3)

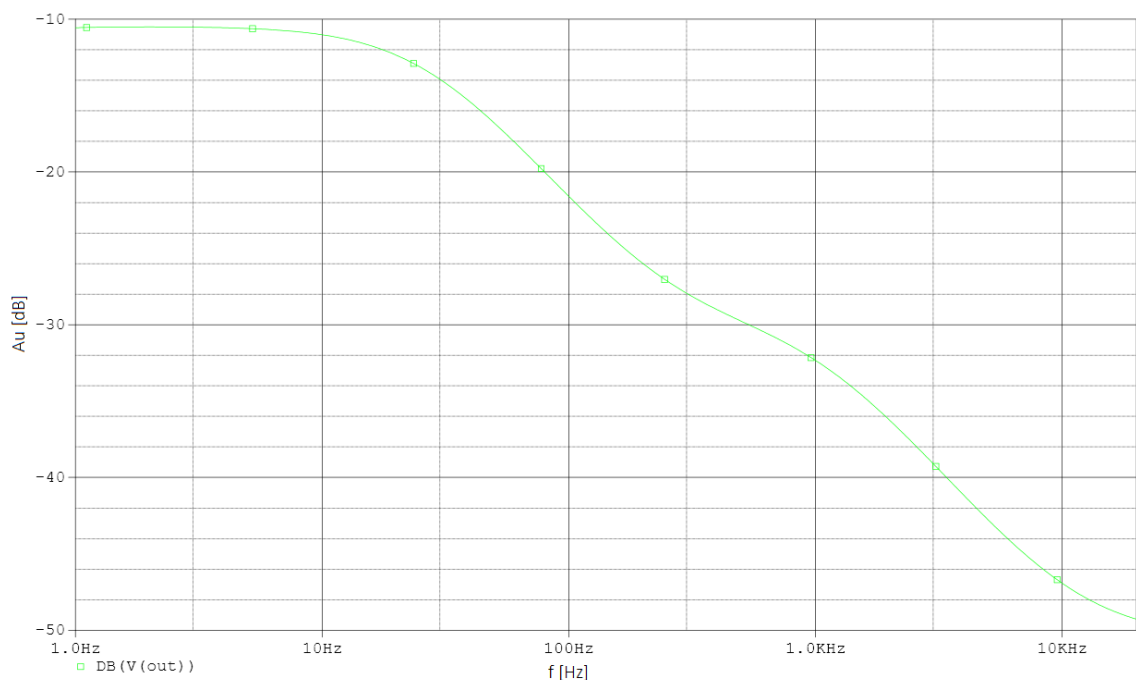
$$v_{dB} = 10 \log \left[1 + \left(\frac{1}{\omega \tau_1} \right)^2 \right] - 10 \log \left[1 + \left(\frac{1}{\omega \tau_2} \right)^2 \right] + 10 \log \left[1 + \left(\frac{1}{\omega \tau_3} \right)^2 \right]. \quad (3.3)$$

Na obrázku (viz Obrázek 3.5) je vidět, že zisk klesá v rozsahu od 50 do 500 Hz o 20 dB, potom se charakteristika vyrovná a na kmitočtu 2 kHz začne opět klesat o dalších 20 dB, až do 20 kHz. Reálná simulace není tak názorná jako teoretická křivka, ale i přesto je možné vidět zlomové frekvence na 50 Hz a 2 kHz. Hodnoty vstupního napětí jsou upraveny tak, aby zisk byl od 20 do -20 dB.

Pomocí časové analýzy (viz Obrázek 3.4) můžeme pozorovat, jak se obvod chová po připojení vstupního signálu. Je vidět, že při frekvenci 1 kHz trvá přibližně 7 ms, než se výstupní napětí ustálí. U frekvence 20 kHz trvá tato doba zhruba 0.4 ms. Příčinou této doby ustálení bude filtrační kondenzátor, který má za úkol odfiltrovat stejnosměrnou složku. Z časové simulace je vidět, že při frekvenci 20 Hz je výstupní napětí 300 mV_{pp} a při 1 kHz je na výstupu úroveň 30 mV_{pp} , tedy pokles o 20 dB. Stejný pokles můžeme pozorovat i 20 kHz. Analýza odpovídá, byla provedena pro obvod s OZ, ale nijak výrazně se neliší od časové analýzy obvodu s diskrétními prvky.



Obrázek 3.4 Časová analýza gramofonového vstupu pro frekvenci a) 1kHz b) 20kHz c) 20Hz



Obrázek 3.5 Simulace přenosové charakteristiky předzesilovače s RIAA korekcí.

3.3 Vstup LINE a AUX

LINE je linkový vstup, který může nabývat více hodnot. Je možné říci, že reprezentuje různé signály, jako například MP3 nebo CD. Používá se zde symetrického vstupu, což zabraňuje indukování rušivého napětí na vodiči. Takový kabel má dva živé a jeden zemnicí vodič. Rušivé napětí se tedy indukuje na oba dva vodiče ve stejné velikosti. Otočením fáze u jednoho z vodičů o 180° dojde k odečtení rušivého napětí. Při realizaci se pro zjednodušení nebude počítat se symetrickým vstupem. Vstup AUX (Auxiliary) je označení vstupu do předzesilovače, například u autorádia, MP3/4 přehrávačů nebo u TV. Impedance vstupu je $47\text{ k}\Omega$. Vstup bude buzen signálem o úrovni 200 mV a na výstupu bude signál o velikosti 775 mV . Pro hodnotu LINE vstupu byla zvolena hodnota 200 mV a pro výstupní signál nastavitelná hodnota od 200 mV do $1,5\text{ V}$. To znamená, že zesílení se bude pohybovat v rozmezí od 1 do $7,5\times$. Impedance vstupu LINE je $11\text{ k}\Omega$ [12]

3.3.1 Návrh pomocí diskrétních prvků

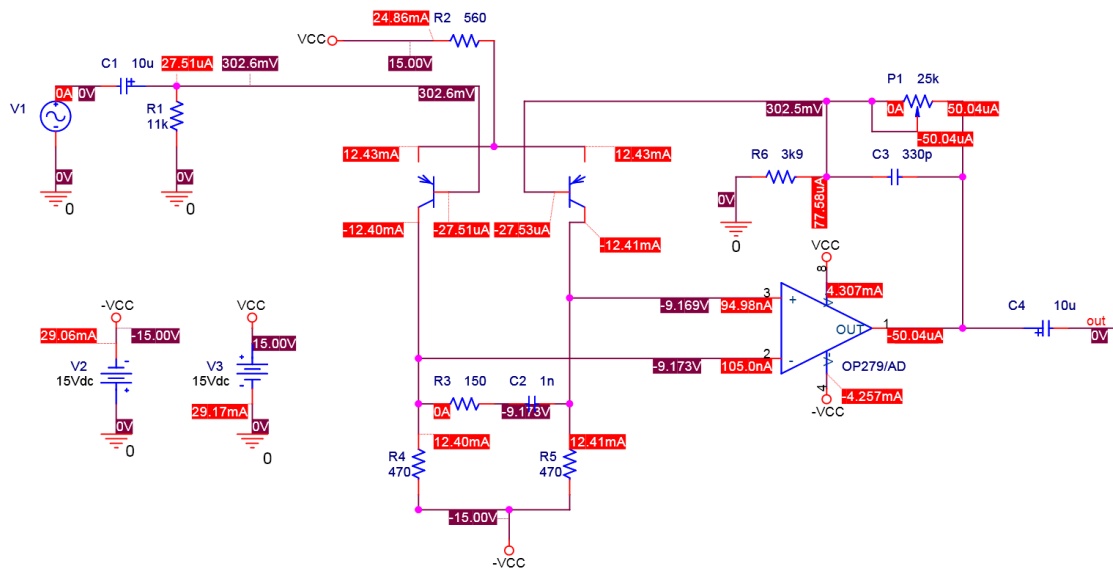
Při řešení vstupního zesilovače (viz Obrázek 3.6) s diskrétními prvky bylo použito diferenciální zapojení dvou tranzistorů. Šumové vlastnosti diferenciálního páru jsou dány vztahy (3.4) a (3.5)

$$u_p^2 = \frac{u_n^2}{n} \rightarrow u_p = \frac{u_n}{\sqrt{n}} \quad [\text{V}] \quad (3.4)$$

$$i_p^2 = i_n^2 n \rightarrow i_p = i_n \sqrt{n} \quad [\text{A}] \quad (3.5)$$

u_n	šum na vstupe jednoho tranzistoru [V],
u_p	šum paralelného spojení n tranzistorů [V],
i_p	šum paralelného spojení n tranzistorů [A],
i_n	šum na vstupe jednoho tranzistoru [A],
n	stupeň diferenciálního zapojení[-].

Ze vztahů je zřejmé, že pokud zvýšíme řád diferenciálního zapojení přidáním dalších dvou tranzistorů, zlepšíme napěťový šum na úkor proudového. V této situaci si vystačíme s obyčejným diferenciálním párem. Za dvojicí tranzistorů se nachází OZ v diferenciálním zapojení, které zesiluje rozdíl signálu na vstupu. Pomocí zpětné vazby přivedeme signál z výstupu OZ na bázi jednoho z tranzistorů, tím dosáhneme potřebného zesílení. Hodnota zesílení je dána poměrem odporů R_6 a potenciometru $P1$. Pokud bychom přivedli na vstup OZ signál se stejnou fází a amplitudou, došlo by k rozkmitání OZ vlivem parazitních kapacit tranzistorů uvnitř pouzdra. Nestabilita nastává zejména v zapojení s malými zisky. Pro kmitočtovou stabilitu se připojují externí součástky. Výrobce udává v katalogovém listu daného zesilovače, jak se má kompenzovat. Pro filtraci rušivého signálu ze zdroje se používají blokové kondenzátory 100 nF



Obrázek 3.6 Tranzistorový vstupní zesilovač signálu LINE z literatury [10]

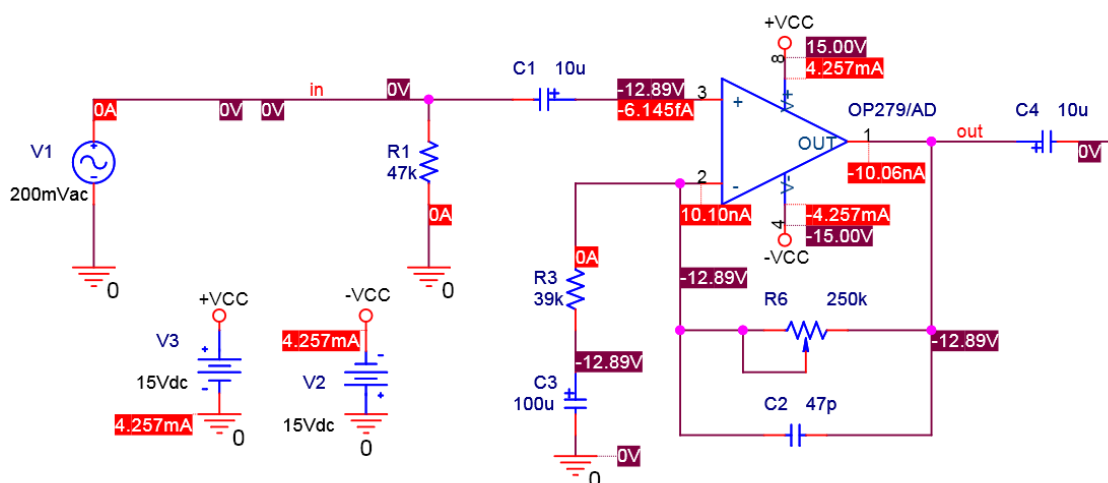
3.3.2 Návrh pomocí OZ

Zapojení pomocí OZ (viz Obrázek 3.7) je řešeno pomocí nízko šumového zesilovače NE5532, který má ve svém pouzdře dva zesilovače. Protože vstupy LINE a AUX mají stejnou úroveň vstupního signálu, můžeme použít jeden OZ pro oba vstupy.

Jediným rozdílem je vstupní impedance a možnost regulace výstupního napětí u vstupu LINE. Celé je to řešeno pomocí otočného přepínače na vstupu, kterým se volí jednotlivé kanály a zároveň zajistí buzení jenom jednoho z těchto vstupů. Po výběru vstupní impedance jsou oba dva vstupy přivedeny na jeden zesilovač. Zapojení je vybaveno ještě jedním přepínačem, který volí mezi pevně nastaveným zesílením pro vstup AUX a nastavitelným zesílením pro vstup LINE. I zde jsou pro filtraci rušivých složek napájecího zdroje použity blokovací kondenzátory o hodnotě 100 nF. Zesílení obvodu je potom dáno vtahem (3.6)

$$Au = 1 + \frac{R3}{R4} \quad [-] \quad (3.6)$$

Au napěťové zesílení [-]



Obrázek 3.7 Vstupní OZ vstupního signálu LINE.

3.3.3 Simulace

Na obrázku (Obrázek 3.8) je vidět přenosová charakteristika vstupu LINE s OZ. Simulace byla provedena pro maximální zesílení. Ze simulace je vidět, že nejvyšší hodnota přenosu je zhruba 3,9 dB. Hodnotu si převedeme na napětí pomocí vztahu (3.7) vypočítáme

$$G = 20 \log \frac{U}{U_0} \rightarrow U = 10^{\frac{3.9}{20}} = 1,59 \quad [V] \quad (3.7)$$

G přenos zesilovače [-].

kde U je napětí na výstupu OZ ve [V] a U_0 [V] je referenční hodnota, ke které je vztaheno napětí na výstupu zesilovače. Zisk článku se značí G a udává se v [dB].

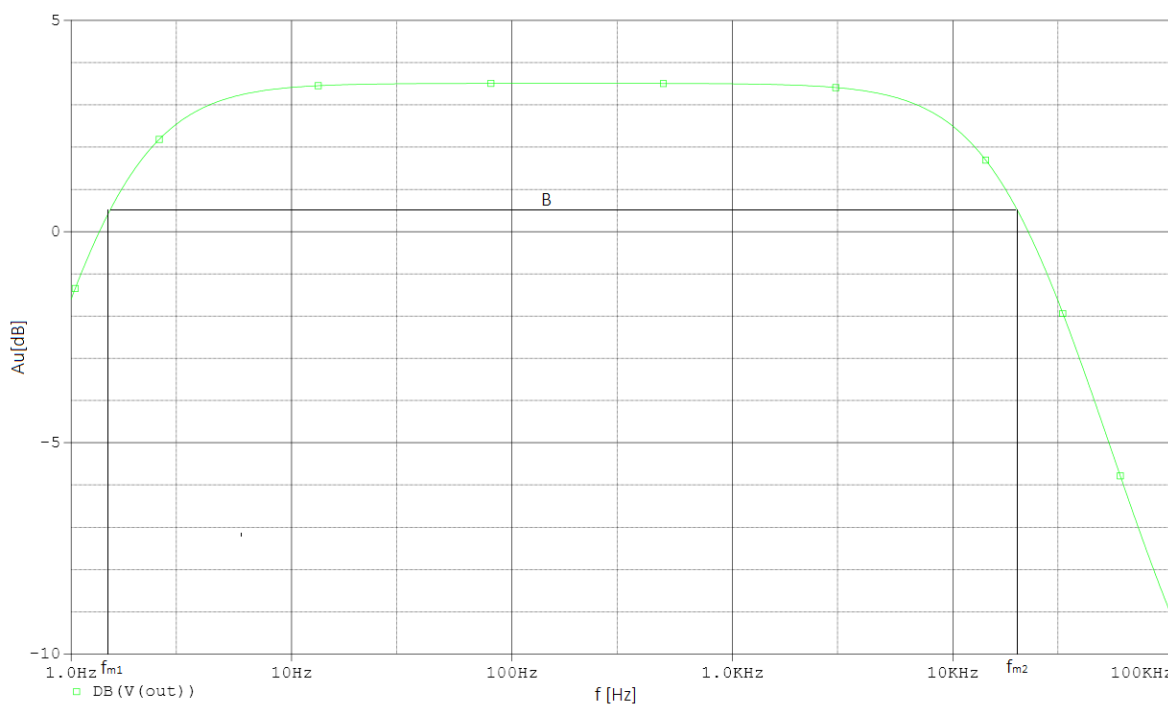
Díky simulaci je možné zjistit šířku pásma, a to díky hornímu a dolnímu meznímu kmitočtu. Kmitočty jsou dány poklesem o 3 dB oproti maximálnímu přenosu. V našem

případě to znamená, že všechny kmitočty s přenosem menším než 0,9 dB jsou mimo přenášené pásmo.

Šířka pásma je dána vtahem (3.8)

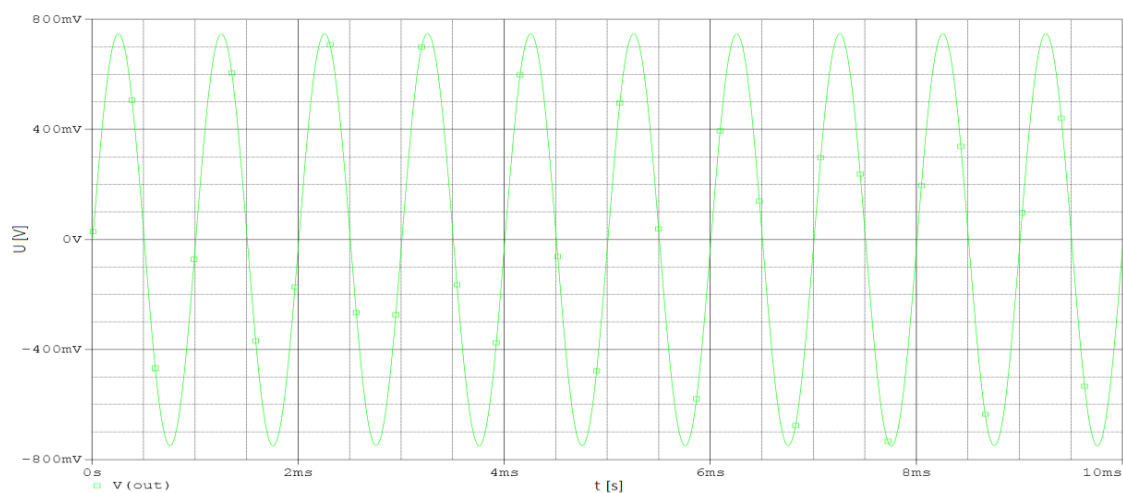
$$B = f_{m2} - f_{m1} \quad [\text{Hz}] \quad (3.8)$$

B šířka pásma [Hz]
 f_{m1} dolní mezní kmitočet
 f_{m2} horní mezní kmitočet.

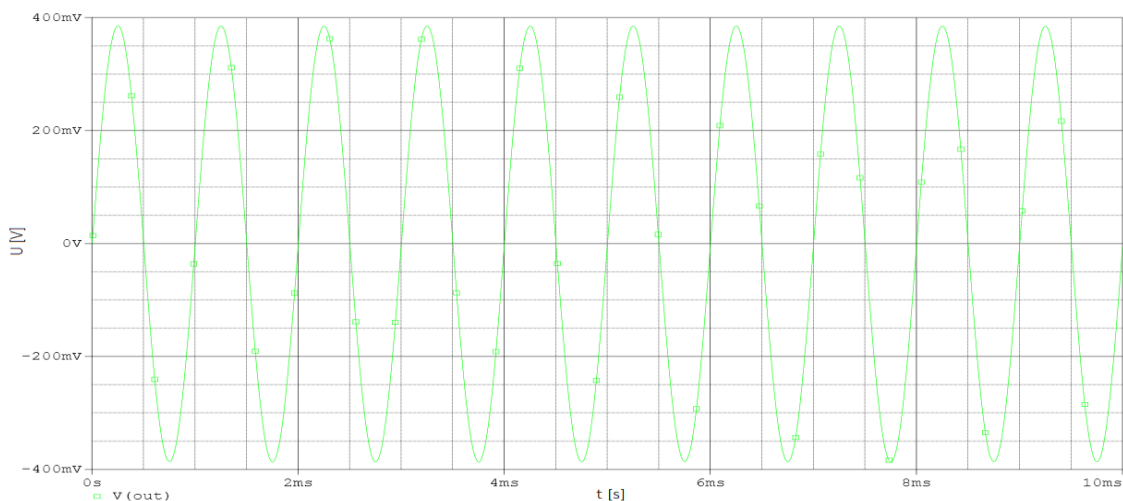


Obrázek 3.8 Simulace přenosové charakteristiky předzesilovače LINE

Z časové analýzy vstupu LINE (viz Obrázek 3.9) vyplývá, že na výstupu obvodu se díky kondenzátoru na konci obvodu nedostane žádná stejnosměrná složka. To stejné platí i pro vstup AUX (Obrázek 3.10), který má výstupní napětí rovno 775 mVpp. Výstupní hodnota napětí obvodu LINE je dle očekávání 1,5 Vpp. Zesílení je možné regulovat potenciometrem ve zpětné vazbě obvodu. Simulace byla provedena pouze pro maximální zesílení.



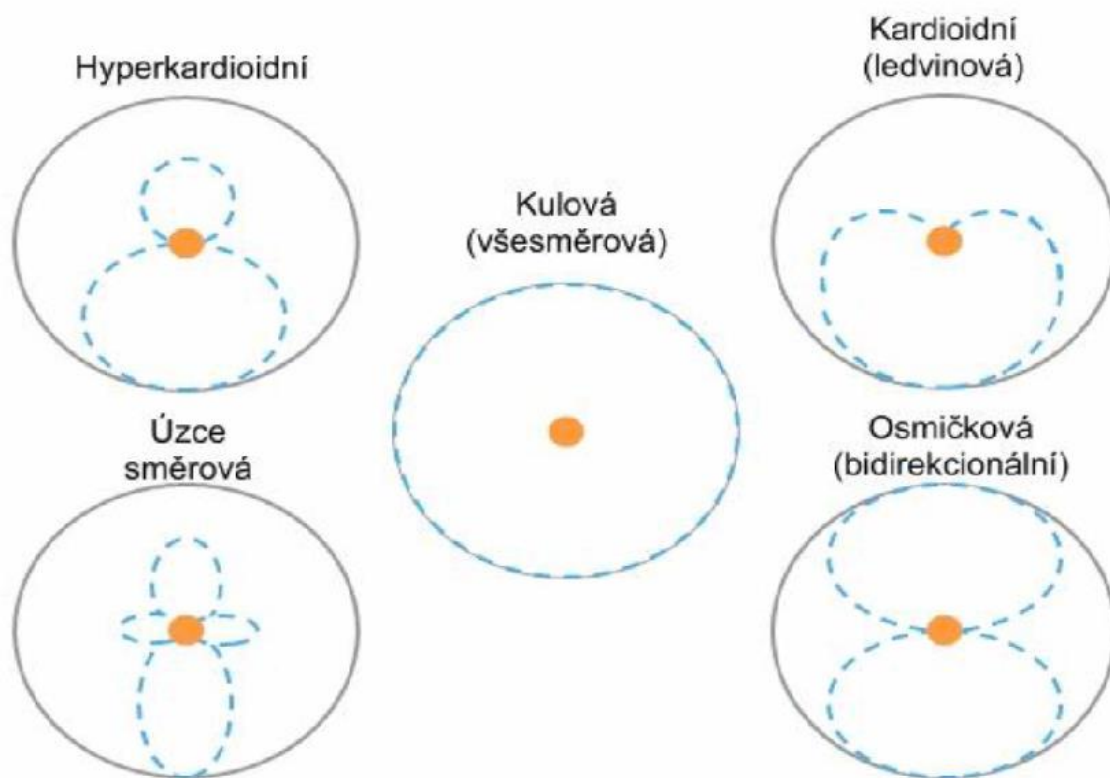
Obrázek 3.9 Časová analýza zesilovače LINE s výstupní úrovní signálu 1,5 V



Obrázek 3.10 Časová analýza zesilovače AUX s výstupní úrovní signálu 0,775 V

3.4 Mikrofonní vstup (MIC)

Mikrofony můžeme rozdělit podle několika parametrů. První rozdělení závisí na způsobu detekce akustického signálu. V této kategorii rozeznáváme tři typy mikrofonů, a to tlakový mikrofon, kde akustický signál dopadá pouze na jednu stranu membrány. Proto nezáleží na vzdálenosti a směru akustického zdroje, jeho charakteristika je všesměrová (viz Obrázek 3.11). Druhým typem jsou gradientní mikrofony, ty se vyznačují tím, že akustický signál dopadá na obě strany membrány. Dokáže potlačit hluk na pozadí užitečného signálu. Výstupní signál mikrofonu je tedy dán rozdílem akustických tlaků z obou stran membrány. Posledním typem je mikrofon vlnový, který je umístěn v ohnisku akustických čoček. Jeho charakteristika je úzce směrová.



Obrázek 3.11 Směrové charakteristiky mikrofonu

Dále můžeme mikrofony rozdělit podle principu přeměny akustického signálu na elektrický signál. Mikrofony pracují buď na rychlostním, nebo výchylkovém principu. Výstupní napětí u výchylkového mikrofonu je úměrné velikosti výchylky membrány (piezoelektrický systém). Naproti tomu rychlostní mají výstupní napětí dané rychlostí pohybu membrány, například elektrodynamický, elektromagnetický systém.

Nejčastěji se používají mikrofony elektrodynamické, které disponují velkým kmitočtovým rozsahem, malým zkreslením a šumem. Akustický tlak působí na membránu, ta je spojena s cívkou, která se pohybuje v magnetickém poli permanentního magnetu, a podle vychýlení membrány se v něm indukuje nf signál. Výstupní signál je velmi malý, přibližně 1,5 až 3 mV. Nízké hodnoty nabývá i impedance. Vstupní impedance se u takovýchto mikrofonů pohybuje okolo 200 Ω . [13]

Podobným typem je elektromagnetický mikrofon, kde se pohybem membrány mění magnetický tok cívky, a tím se v ní indukuje signál. Tyto mikrofony jsou vhodné pro přenos řeči a jejich šířka pásma se pohybuje od 300 Hz do 3500 kHz

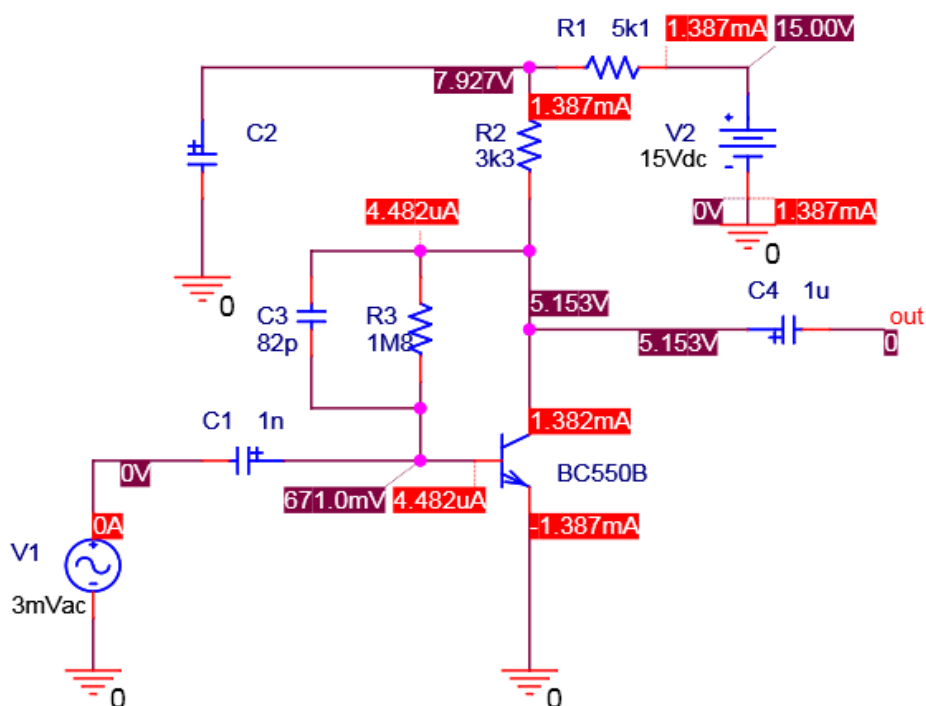
Elektrostatické neboli kondenzátorové mikrofony jsou vybaveny dvěma elektrodami, jednou pohyblivou a druhou pevnou. Vychylováním membrány akustickým tlakem dochází ke změně vzdálenosti, tím i ke změně kapacity mezi deskami a tomu se vytváří úměrný nf signál. Vzdálenost desek se pohybuje v rozmezí 20-30 μm , kapacita se pohybuje od 30 do 100 pF. Kondenzátorové mikrofony vyžadují připojení stejnosměrného polarizačního napětí 30-200V [13]

Mikrofonní předzesilovač (viz Obrázek 3.12) je řešen diskretními součástkami. Vstupní signál je zvolen 3mV, což je jedna z nejpoužívanějších napěťových úrovní pro

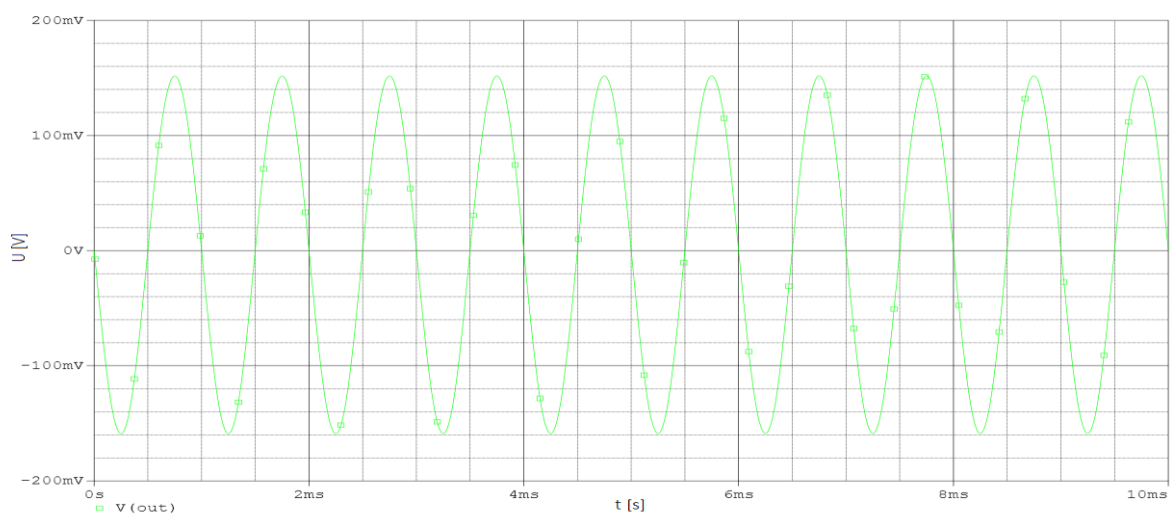
mikrofon. Obvykle se řeší pomocí symetrického vstupu, ale pro zjednodušení bude použit nesymetrický vstup.

3.4.1 Simulace

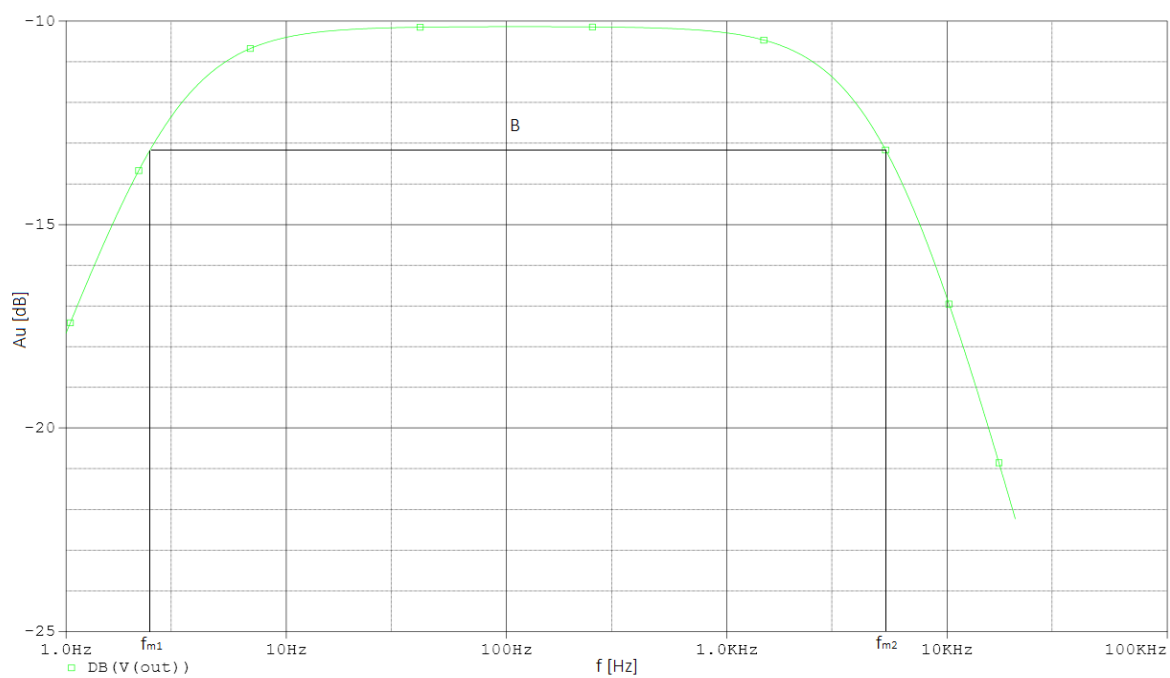
Změna hodnot rezistorů R1 a R2 na obrázku (Obrázek 3.12) způsobuje nárůst nebo pokles zesílení. Kondenzátor C1, takzvaný vazební, slouží k zabránění průchodu stejnosměrné složky do obvodu. Na obrázku (viz Obrázek 3.14) je znázorněna přenosová charakteristika obvodu a na obrázku (Obrázek 3.13), je časová analýza.



Obrázek 3.12 Řešení mikrofónového vstupního předzesilovače z literatury [7]



Obrázek 3.13 Časová analýza mikrofónové zesilovače.



Obrázek 3.14 Simulace přenosové charakteristiky mikrofónového předzesilovače.

4 MĚŘICÍ TECHNIKY

4.1 Přenosová „frekvenční“ charakteristika

Frekvenční charakteristika (viz Obrázek 3.14) udává, jak se měřený obvod chová v závislosti na frekvenci, a většinou se vynáší v decibelové míře. Přepočítání z napěťové úrovně do decibelové se provádí podle vztahu (3.7). Každý nízkofrekvenční zesilovač přenáší slyšitelné pásmo s vyrovnanou přenosovou charakteristikou, k poklesu o tři decibely dochází mimo pásmo slyšitelnosti. U nf zesilovačů nás zajímá pásmo od 16 Hz do 24 kHz. Pro přehlednost se graf vynáší s logaritmickou osou.

Měření se provádí připojením určité úrovně napětí na vstup přípravku, která je dána úrovněmi zpracovávaných signálů, například LINE, AUX, MIC nebo gramofonová přenoska. Pokud obvod umožňuje regulaci zesílení, tak se hodnota nastavuje na maximální úroveň signálu. Zvyšováním frekvence podle předem daných hodnot získáváme přenosovou charakteristiku. U takové charakteristiky potom určíme šířku pásma B, která je dána lomovými frekvencemi f_{m1} a f_{m2} a vztahem (3.8). Lomovou frekvenci získáme nastavením maximální hodnoty zisku přenosové charakteristiky, díky snížení frekvence dojde k poklesu zisku o 3 dB. Frekvence, na niž zisk klesne o 3 dB, se nazývá mezní frekvence. To samé platí i při zvyšování kmitočtu.

4.2 Harmonické zkreslení

Harmonické zkreslení vychází ze zkratky THD, která udává procentuální poměr součtu efektivních hodnot všech harmonických složek proti základní harmonické složce signálu. To znamená, že čím je THD nižší, tím je signál čistší, věrnější poslech. THD je dáno vztahem (4.1)

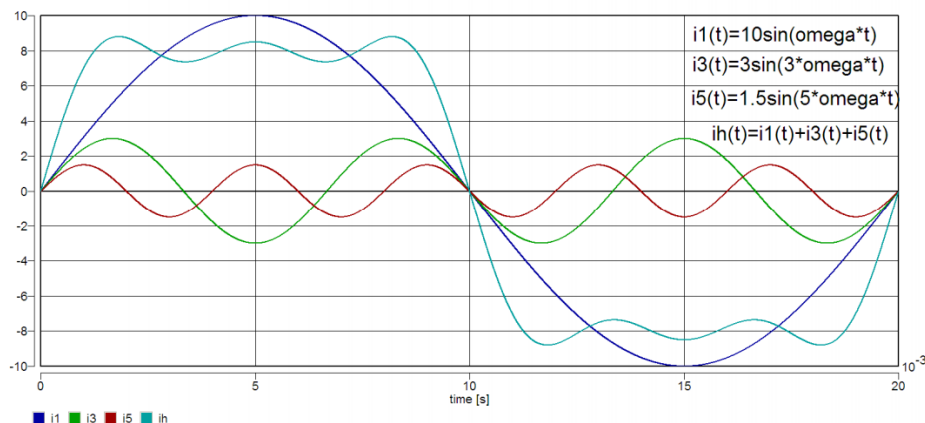
$$THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} 100 \quad (4.1)$$

Dochází k němu při průchodu zpracovávaného signálu obvodem s nelineárními prvky, například tranzistory, diodami a OZ. Vliv těchto nelineárních součástí má za následek vznik vyšších harmonických složek, kvůli kterým dochází ke zkreslení sinusového průběhu (viz Obrázek 4.1). Nově vytvořené složky jsou tvořeny násobky frekvence vstupního signálu. Vytváří se zde sudé a liché násobky, přičemž větší vliv na zkreslení signálu mají liché složky. Největší vliv má třetí harmonická složka, která se projevuje už při nižších hlasitostech. Nižší harmonické zkreslení neznámá lepší poslech. V některých případech se harmonické zkreslení vyžaduje, například u hudebních nástrojů je možnost regulace THD. [14]

Na obrázku (Obrázek 4.1) je viditelný vliv 3. a 5. harmonické složky. Průběh I1 je původní sinusový signál, I3 a I5 jsou 3. a 5. harmonická složka. Výsledek vlivu lichých harmonických složek je vidět na průběhu In.

Harmonické zkreslení se dá měřit připojením kmitočtového analyzátoru, kterým se měří úrovně vyšších harmonických složek. Další metoda spočívá v připojení filtru

s horní propustí, která zajistí, že ve spektru zůstanou pouze nežádoucí vyšší harmonické složky. Pro toto měření je potřeba kvalitní kmitočtový analyzátor a generátor se zanedbatelným zkreslením výstupního signálu.



Obrázek 4.1 Graf vlivu harmonického zkreslení 3 a 5 harmonickou složkou z literatury [15]

4.3 Limitace (přebuditelnost) výstupního napětí předzesilovače

Vlivem zvyšování vstupní úrovně signálu dochází k limitaci výstupního napětí. Limitací rozumíme míru linearity zesilovače, při limitaci výstupního napětí se zesilovač dostane do nelineární části. Při limitaci dochází k oříznutí signálu nad určitou úroveň. Hodnotu limitace může určovat například napájecí napětí. [16]

Měření se bude provádět u vstupu LINE připojením předem definované úrovně signálu na vstup zesilovače, která je 200 mV. Je potřeba nastavit vstupní napětí na maximální možnou úroveň, aby na výstupu nebyl limitován signál. Pomocí jmenovitého výstupního napětí, tj. 775 mV, a hodnoty napětí před limitací se vypočítá limitace zesilovače. Podle vztahu (3.4)

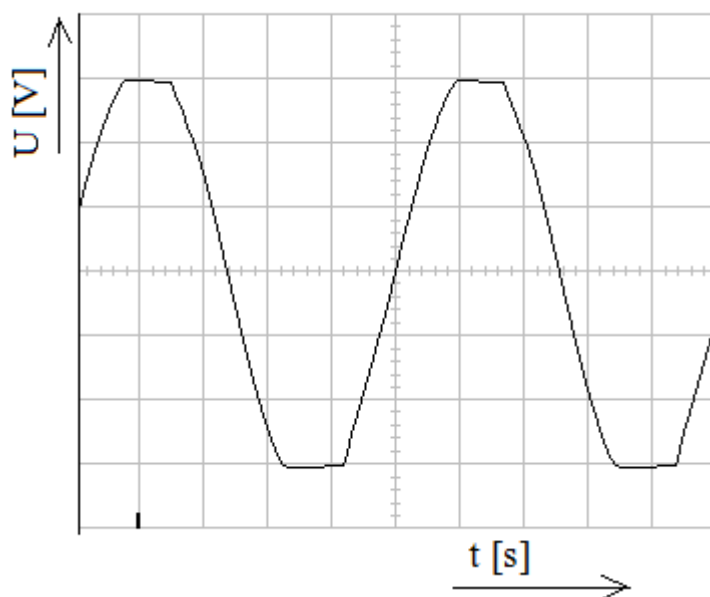
$$L = 20 \log \frac{U_{2lim}}{U_{2jmen}} \quad [dB] \quad (3.4)$$

U_{2lim} výstupní napětí těsně před limitací [V]

U_{2jmen} výstupní jmenovité napětí [V]

L limitace výstupního napětí [dB].

Na obrázku (Obrázek 4.2) je vidět ořezání maximálních a minimálních hodnot vlivem přebuzení vstupu předzesilovače.



Obrázek 4.2 Vliv limitace na výstupním signálu z literatury

4.4 Odstup cizích rušivých napětí

V obou případech se jedná o poměr mezi maximálním užitečným signálem a nežádoucím signálem. Nežádoucím signálem označujeme každé nežádoucí napětí, které vstupuje nebo se indukuje v obvodu a má vliv na užitečný signál.

Zdrojem takového šumu může být například rezistor nebo PN přechod. Dalším šumem je například tepelný šum, který se vytváří zahříváním součástek v obvodu, proto je potřeba při návrhu takových obvodů, jako jsou předzesilovače, dávat pozor na vliv jednotlivých součástek. Z tohoto důvodu jsou použity metalizované rezistory. Do užitečného signálu se může indukovat cizí napětí, například brum. Nejčastější napětím indukované je síťové napětí, to se indukuje na 50 Hz a jeho celistvých násobcích. Zamezit indukování cizích napětí můžeme správnou konstrukcí, vlastnostmi komponentů a zakroucením párových vodičů, ty se pak nemají tendenci chovat jako anténa.[17]

Měření se provádí podobně v obou případech, jediným rozdílem je, že při odstupu rušivých napětí se používá speciální filtr. Pro takový filtr je charakteristická tzv. křivka A, odpovídá slyšitelnosti lidského ucha. Křivka A potlačuje nižší frekvence, na které není ucho tak citlivé. Podle normy pro předzesilovače DIN45500 by měl být odstup nežádoucího signálu minimálně 50 dB na kmitočtu 1 kHz. Pokud přípravek obsahuje regulaci hlasitosti, je zapotřebí nejprve nastavit maximální zesílení a poté hodnotu o 20 dB sníženou. Poměr jmenovitého a zbytkového napětí na výstupu udává odstup nežádoucích napětí. Měření se provádí v pásmu 32,5 Hz až 20kHz pro odstranění rušení z oblasti mimo slyšitelného pásma.

4.5 Přeslech mezi vstupy

Jedná se o přeslech mezi jedním vybuzeným vstupem a ostatními nevybuzenými vstupy. Podobně se také měří přeslechy mezi kanály, jediným rozdílem je, že se zde měří přeslechy levého a pravého kanálu, jinak je všechno stejné.

Připojením jmenovitého napájení na jeden ze vstupů předzesilovače vybudíme příslušný výstupní signál. Měříme jednotlivé výstupy všech předzesilovačů, včetně těch, ke kterým není připojený vstupní signál. Úroveň na výstupu se musí měřit přístrojem s velmi malou citlivostí. Rozdíl mezi vybuzeným vstupem a vstupem naprázdno musí být nejméně 50 dB.

5 NAMĚŘENÉ HODNOTY ZAŘÍZENÍ

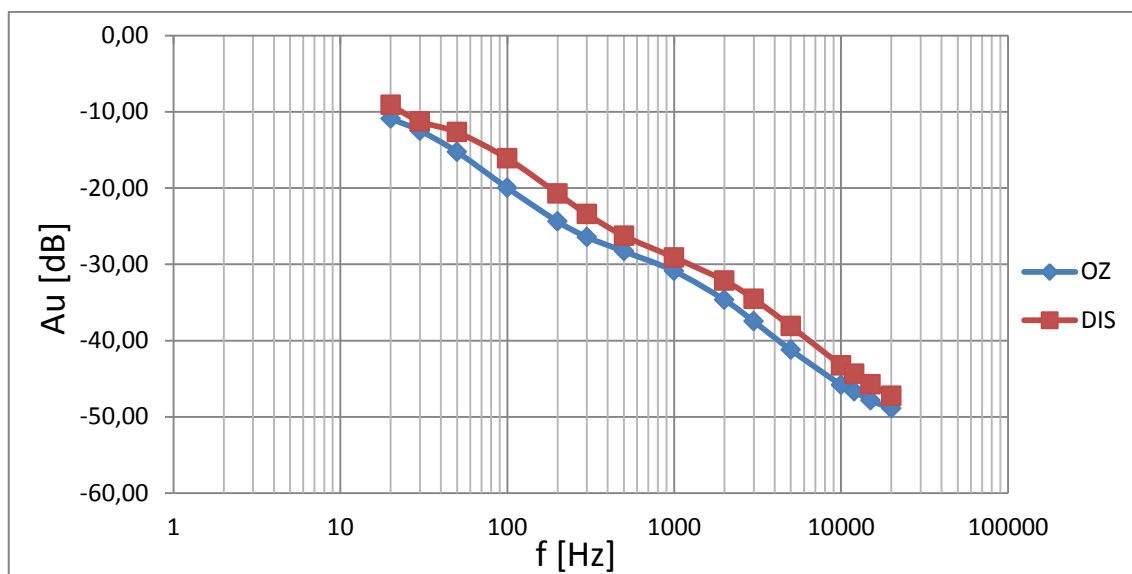
5.1 Frekvenční charakteristiky

V tabulce (Tabulka 2) jsou zapsány naměřené a vypočtené hodnoty pro gramofonovou přenosku. Naměřené hodnoty se od normy RAAA příliš neliší. Maximální odchylka v zapojení s OZ je ± 2 dB a u diskretních součástek je odchylka v rozmezí $\pm 2,5$ dB. Největší zesílení je na nízkých kmitočtech z důvodu toho, že rychlostní gramofonové přenosky tento kmitočet přenášejí s velmi malým výstupním signálem. S rostoucí frekvencí se zvedá i výstupní signál. Proto je žádoucí, aby kmitočty nad 10 kHz byly tlumené až 40 dB oproti desítkám hertz. Změřenou RIAA charakteristiku můžeme sledovat na obrázku (Obrázek 5.1). Z grafu je vidět, že zapojení s diskretními prvky má větší zesílení než obvod s OZ. Důvodem je především jednoduché nastavení pracovního bodu OZ, kde zesilovací činitel určuje poměr hodnot dvou součástek.

Tabulka 2 Naměřené hodnoty gramofonového vstupu.

Údaje gen.	OZ		DIS	
f [Hz]	$U_2[mV_{rms}]$	$A_u[dB]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
20	101	-10,88	124	-9,10
30	84,1	-12,47	96,8	-11,25
50	61,1	-15,25	82,2	-12,67
100	35,5	-19,96	55,4	-16,10
200	21,4	-24,36	32,6	-20,70
300	16,9	-26,41	23,9	-23,40
500	13,6	-28,30	17,2	-26,26
1000	10,1	-30,88	12,4	-29,10
2000	6,54	-34,66	8,75	-32,13
3000	4,72	-37,49	6,63	-34,54
5000	3,07	-41,23	4,39	-38,12
10000	1,81	-45,82	2,43	-43,26
12000	1,64	-46,67	2,14	-44,36
15000	1,43	-47,86	1,82	-45,77
20000	1,27	-48,89	1,53	-47,28

U vstupního zesilovače pro mikrofon je z naměřených hodnot patrné (viz. Obrázek 5.2, Tabulka 4), že šířka pásma je 5 kHz. Takovou šířkou pásma disponují například elektromagnetické mikrofony, pro přenos řeči tato šířka pásma postačuje. Za zmenšení propustného pásma může kondenzátor vložený mezi kolektor a bázi, ten výrazně zlepšuje kvalitu užitečného signálu na úkor šířky přenášeného pásma.

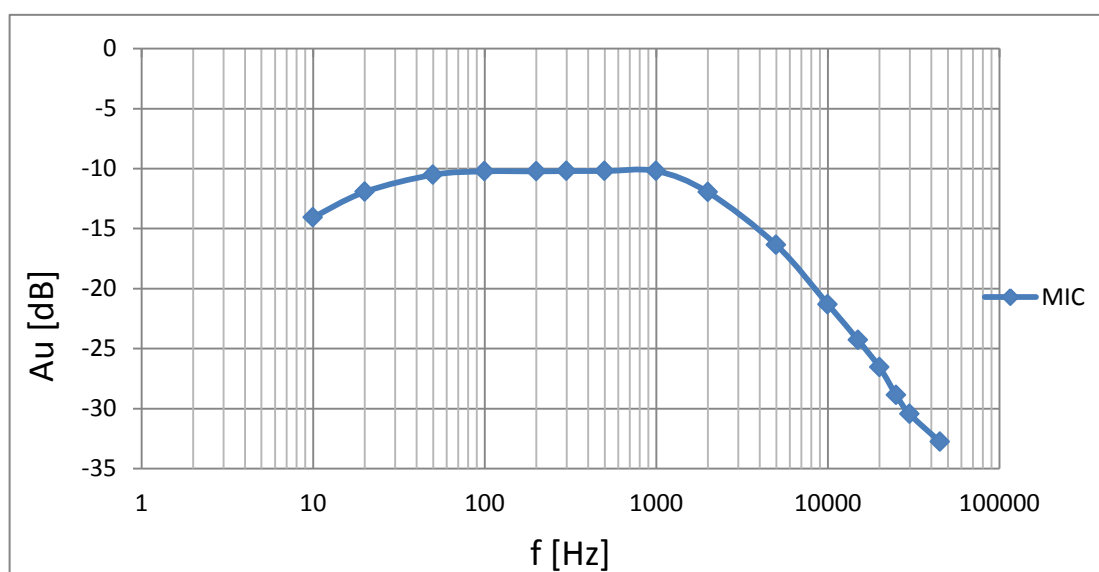


Obrázek 5.1 Modulová frekvenční charakteristika gramofonového vstupu

Při měření frekvenční charakteristiky nebyl nalezen dolní mezní kmitočet. Měření bylo prováděno pouze do 10 Hz.

Naměřené hodnoty linkového vstupu jsou zaznamenány v tabulce (Tabulka 4). Protože obvod je vybaven regulovatelným zesílením, byly hodnoty změřeny pro dvě různé výstupní úrovně signálu. Z grafu (Obrázek 5.3) vyplývá, že při nastavení výstupního signálu na poloviční zesílení je šířka pásma zhruba 30 kHz. Při maximálním zesílení se šířka pásma zmenší zhruba na 12 kHz. Hodnoty naměřené u vstupu AUX (Tabulka 5), **(Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.)** jsou podobné linkovému vstupu. Z vynesené charakteristiky můžeme vidět, že šířka pásma je přibližně 25 kHz.

Při měření frekvenční charakteristiky nebyl nalezen dolní mezní kmitočet. Měření bylo prováděno pouze do 10 Hz.



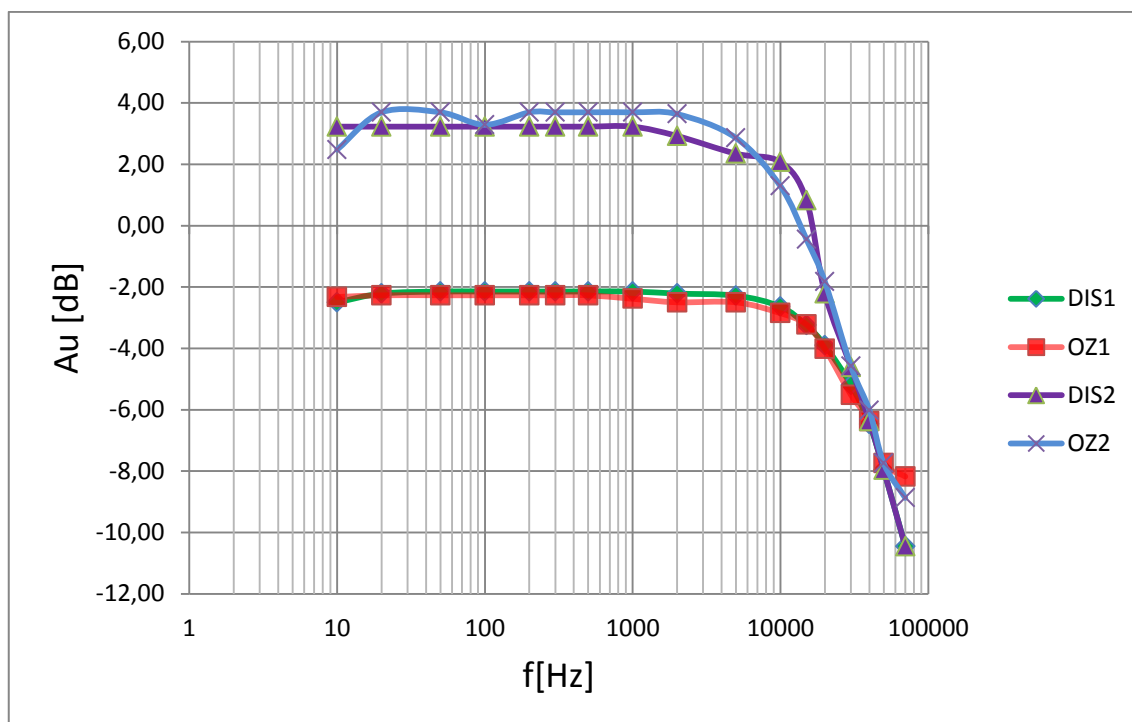
Obrázek 5.2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofonního vstupu.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty mikrofonního zesilovače.

Údaje gen.	DIS	
f [Hz]	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
5	5	-20
10	10	-14,5
20	253	-11,9376
50	298	-10,5157
100	308	-10,229
200	308	-10,23
300	309	-10,20
500	309	-10,20
1000	309	-10,20
2000	252	-11,97
5000	152	-16,36
10000	86	-21,31
15000	61	-24,29
20000	47	-26,56
25000	36	-28,87
30000	30	-30,46
45000	23	-32,77

Tabulka 4 Naměřené hodnoty vstupu LINE.

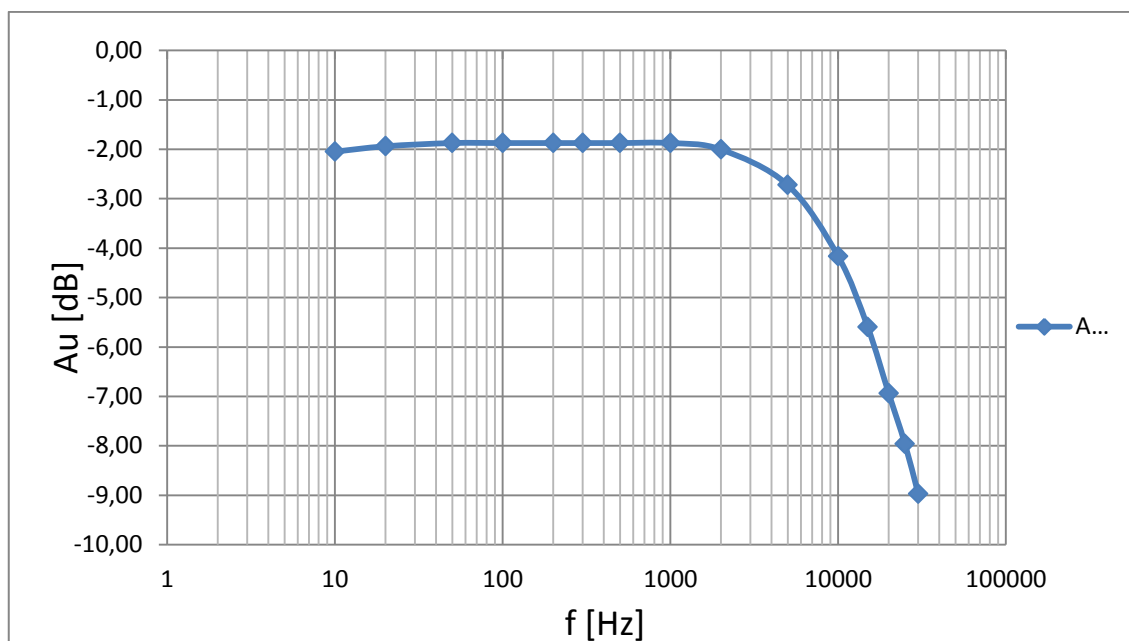
Údaje gen.	OZ (zesílení 1)		OZ (zesílení 2)		DIS (zes1)		DIS (zes2)	
f [Hz]	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$U_2[mV]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$A_u[dB]$
10	765	-2,33	1.33	2,48	750	-2,50	1.45	3,23
20	770	-2,27	1.53	3,69	775	-2,21	1.45	3,23
50	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
100	770	-2,27	1.46	3,29	781	-2,15	1.45	3,23
200	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
300	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
500	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
1000	760	-2,38	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
2000	750	-2,50	1.52	3,64	775	-2,21	1.4	2,92
5000	750	-2,50	1.39	2,86	769	-2,28	1.31	2,35
10000	720	-2,85	1.16	1,29	738	-2,64	1.27	2,08
15000	690	-3,22	950	-0,45	688	-3,25	1.1	0,83
20000	630	-4,01	810	-1,83	638	-3,90	0.775	-2,21
30000	530	-5,51	590	-4,58	550	-5,19	0.588	-4,61
40000	480	-6,38	500	-6,02	475	-6,47	0.48	-6,38
50000	410	-7,74	410	-7,74	400	-7,96	400	-7,96



Obrázek 5.3 Modulová frekvenční charakteristika vstupu LINE s OZ a DIS. prvky.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty vstupu AUX.

Údaje gen.		AUX	
f [Hz]	U_1 [mV]	U_2 [mV]	Au dB
5	200	650	-3,74
10	200	790	-2,05
20	200	800	-1,94
50	200	806	-1,87
100	200	806	-1,87
200	200	806	-1,87
300	200	806	-1,87
500	200	806	-1,87
1000	200	806	-1,87
2000	200	794	-2,00
5000	200	731	-2,72
10000	200	619	-4,17
15000	200	525	-5,60
20000	200	450	-6,94
25000	200	400	-7,96
30000	200	356	-8,97



Obrázek 5.4 Modulová frekvenční charakteristika vstupu AUX.

5.2 Vstupní impedance

Vstupní impedance byla určena pomocí vloženého nastavitelného útlumového členu. U gramofonového vstupu byla impedance změřena pro 20 Hz, na vyšších kmitočtech by byl výstupní signál utlumen natolik, že by bylo obtížné ho změřit. Pro ostatní předzesilovače byla impedance změřena pro 1 kHz. Zvyšováním odporu útlumového členu se začne snižovat výstupní signál, jakmile klesne na polovinu, tak hodnota na cejkovaném útlumovém členu přímo udává impedanci na vstupu obvodu. Odečtené hodnoty jsou zapsány v tabulce (Tabulka 6). Kvůli nedostatečně ocejchovanému útlumovému článku jsou výsledné hodnoty značně nepřesné.

Tabulka 6 Naměřené hodnoty vstupní impedance jednotlivých vstupů.

	$U_1 [mV]$	$I_1 [mA]$	$Z [\Omega]$
LINE	200mV		11k
AUX	200mV		11k
MIC	3mV		<10k
Gram.	3mV		49k

5.3 Harmonické zkreslení a THD+N

Harmonické měření jsem měřil na milivoltmetru MV100. Z naměřených hodnot, které jsou zapsány v tabulkách níže, vyplývá, že pokud vstupy vybudíme výrazně nižší úrovní signálu, než je jmenovitá hodnota, dochází k vysokému nárůstu THD+N. Stejný jev nastává i v případě, kdy vstup přebudíme. Výjimkou je vstup s korekcí RIAA (Obrázek 5.6, Tabulka 9, Tabulka 10, Tabulka 11, Tabulka 12), tedy gramofonový, kde

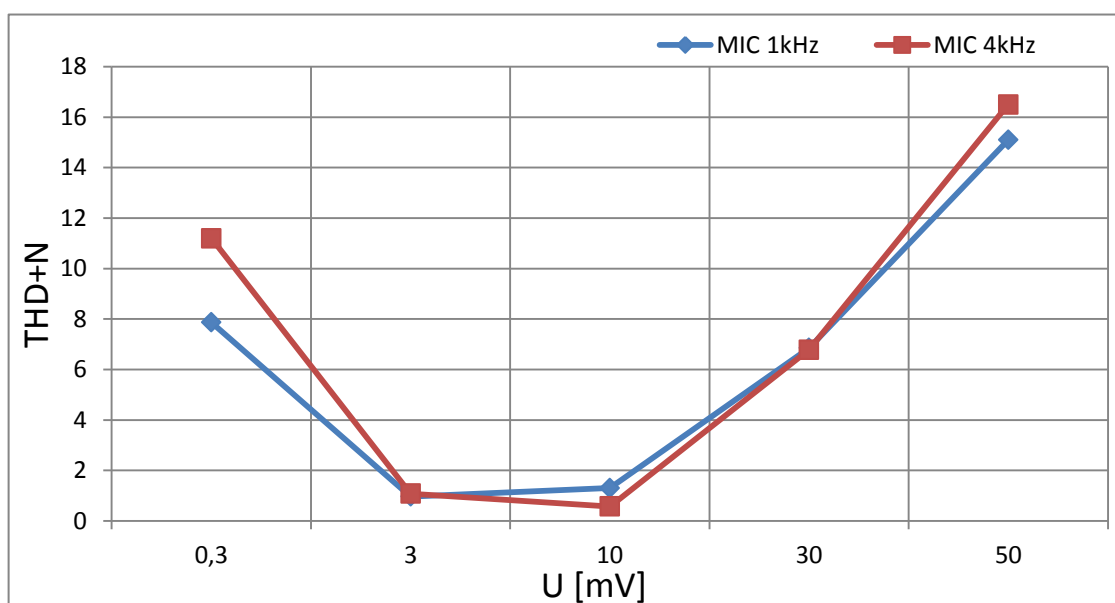
se zkreslení více projevuje na kmitočtu 1kHz než 250Hz. Důvodem je výrazně větší útlum signálu na 1kHz. Díky tvaru charakteristiky není možné vstup přebudit pomocí dostupných přístrojů v laboratoři. Můžeme říci, že zvyšování vstupního signálu do určité hodnoty má příznivý vliv na výsledné hodnoty THD+N. U vstupu LINE s OZ a s DIS. prvky, (viz Obrázek 5.7, Tabulka 13, Tabulka 14, Tabulka 15, Tabulka 16) je vidět, že když přebudíme jeho vstup, dojde na výstupu k limitaci a ke znehodnocení užitečného signálu. U Díky malé šířce pásma MIC (Obrázek 5.5, Tabulka 7, Tabulka 8) vstupu, bylo měření prováděno na kmitočtech 1 kHz a 4 kHz

Tabulka 7 Harmonické zkreslení a THD+N pro MIC a kmitočtem 1 kHz.

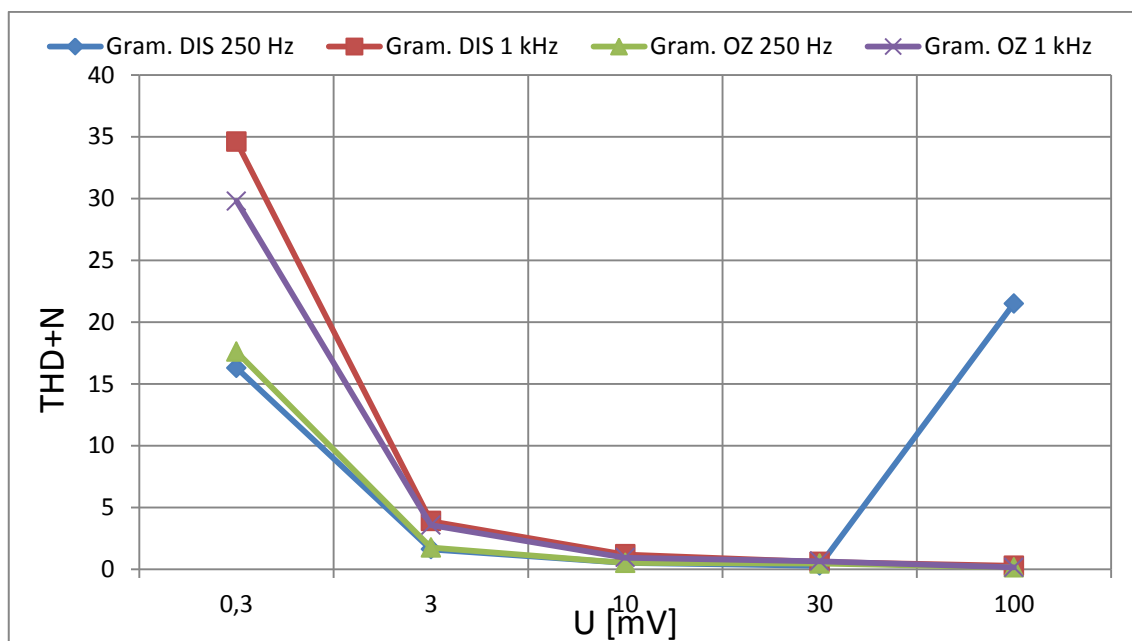
$U_1 [mV]$	$U_2 [mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	10,3	0,0792	0,0170	7,870
3	102	0,5977	0,0024	0,965
10	340	2,011	0,039	1,305
30	1331	6,049	0,36	6,85
50	2,1	18,3	1,698	15,1

Tabulka 8 Harmonické zkreslení a THD+N pro MIC a kmitočtem 4 kHz.

$U_1 [mV]$	$U_2 [mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	7,8	0,0356	0,146	11,2
3	61,58	0,203	0,0020	1,
10	214	0,471	0,0078	0,573
30	1,29	10,27	0,546	6,781
50	2,0	16,67	1,447	16,5
252 50				



Obrázek 5.5 Vynesené hodnoty THD+N MIC vstupu.



Obrázek 5.6 Vynesené hodnoty THD+N Gramofonového vstupu s OZ a DIS.

Tabulka 9 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s OZ a kmitočtem 250 Hz.

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3	1,8	0,0787	0,1445	17,6
3	18,7	0,0078	0,0140	1,758
10	62,3	0,0043	0,0035	0,515
30	207	0,073	0,0055	0,470
100	688	0,0043	0,0105	0,162

Tabulka 10 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s OZ a kmitočtem 1 kHz.

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3	1,04	0,0576	0,0345	29,8
3	10,2	0,0069	0,0039	3,574
10	33,8	0,0034	0,0015	0,952
30	112	0,0038	0,0049	0,656
100	373	0,0041	0,0109	0,156

Tabulka 11 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s DIS. prvky a kmitočtem 250 Hz.

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3	1,23	0,0338	0,0298	20,4
3	12,3	0,0062	0,0029	3,898
10	40,9	0,0079	0,0013	1,206
30	136	0,1313	0,0043	0,593
100	450	0,1874	0,1311	0,291

Tabulka 12 Harmonické zkreslení a THD+N pro gram. vstup s DIS. prvky a kmitočtem 1 kHz.

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	2,66	0,0482	0,2557	31,54
3	26,6	0,0064	0,0248	4,563
10	88,6	0,0072	0,0087	0,531
30	293	0,0234	0,0214	0,300
100	698	20,175	8,111	21,5

Tabulka 13 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s DIS. prvky a kmitočtem 1 kHz.

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00222	0,056	0,0213	3,876
0,2	0,51	0,0087	0,0087	0,034
0,05	0,111	0,0076	0,0046	2,686
2	5,100	00,0223	0,0126	0,31
5	11,100	4,338	9,436	11,3

Tabulka 14 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s DIS. prvky a kmitočtem 8 kHz.

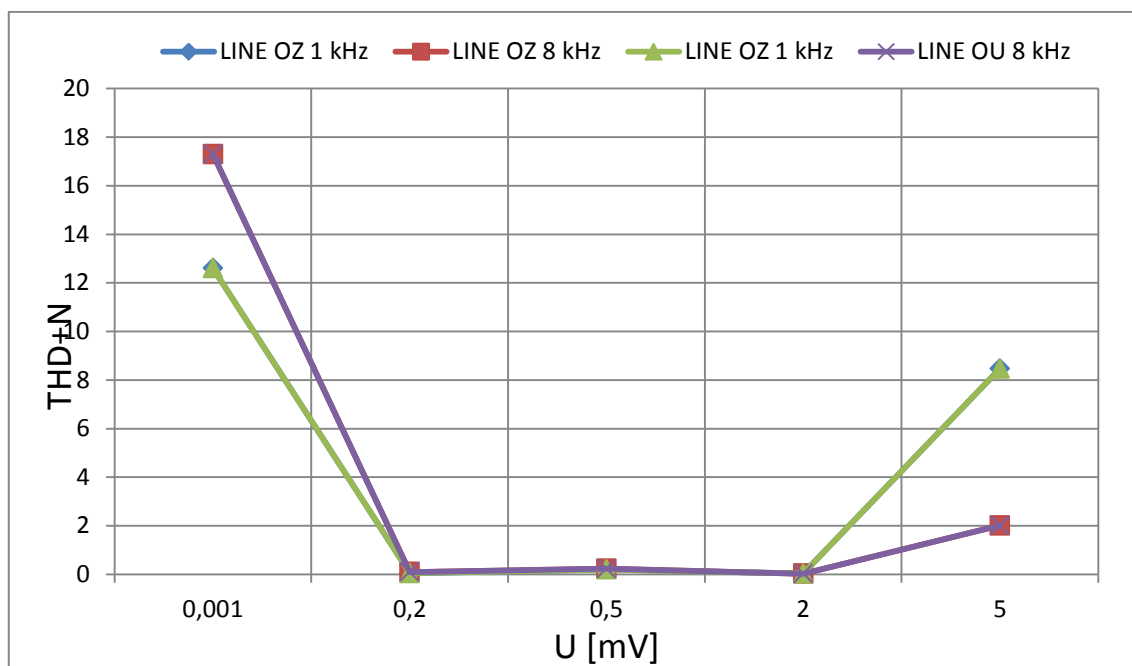
$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00185	0,0154		45
0,200	0,423	0,0051		0,036
0,05	0,106	0,0028		0,133
2	4,22	0,0190		0,030
5	10,1	2,357		2,414

Tabulka 15 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s OZ a kmitočtem 1 kHz.

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00205	0,0406	0,0585	12,6
0,2	0,477	0,0078	0,0025	0,051
0,050	0,119	0,0076	0,0043	0,201
2	4,77	0,0091	0,0023	0,034
5	10,8	4,447	6,728	8,470

Tabulka 16 Harmonické zkreslení a THD+N pro vstup LINE s OZ a kmitočtem 8 kHz.

$U_1[mV]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00173	0,1347		17,3
0,2	0,399	0,0059		0,098
0,050	0,0997	0,0048		0,236
2	3,990	0,0151		0,029
5	9,77	2,329		2,012



Obrázek 5.7 Vynesené hodnoty THD+N vstupu LINE s OZ a DIS.

5.4 Přeslechy mezi jednotlivými vstupy a pravým, levým kanálem.

Princip měření přeslechů mezi kanály spočívá ve vybuzení jednoho kanálu a připojení milivoltmetru MV100 k nevybuzenému kanálu. Hodnota, kterou změří milivoltmetr, převedeme na decibely, a to pomocí vztahu (5.1)

$$A_u = 20\log(U_2) \quad (5.1)$$

Protože hodnoty změřené přístrojem MV100 jsou v RMS, byly převedeny na pp, a to pomocí vztahu (5.2)

$$U_{pp} = (U_{2RMS} \times \sqrt{2}) \times 2 \quad (5.2)$$

Stejným způsobem změříme úroveň na výstupu vybuzeného kanálu a převedeme na decibely. Potom stačí už jen dopočítat výsledný přeslech podle daný vztahem (5.3)

$$P = |A_{u,vyb.}| + A_{u,nevy.} \quad (5.3)$$

$A_{u,vyb.}$ decibelové vyjádření vybuzeného výstupu [dB]

$A_{u,nevy.}$ decibelové vyjádření nevybuzeného výstupu [dB].

Přeslechy mezi vstupy jsem měřil tak, že jsem vybudil na maximální hodnotu vstup LINE s OZ a odečítal jsem napětíovou úroveň na ostatních výstupech zesilovačů. Další postup je stejný jako u levého a pravého kanálu.

Z naměřených výsledků (Tabulka 17, Tabulka 18, Tabulka 19, Tabulka 20, Tabulka 21, Tabulka 22, Tabulka 23) můžeme říci, že celkové zařízení má přeslech menší než 50 dB. Nejlepších výsledků se podařilo dosáhnout u obvodů s OZ. Nejhorších hodnot dosahovaly vstupy s diskrétními prvky a s malou hodnotou vstupního signálu, jako je MIC nebo gram. vstup.

Tabulka 17 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály zesilovače LINE s OZ.

f[Hz] LINE.OZ	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	200	508	3,15	70.0	-74,07	77,22
500	200	508	3,15	141	-67,98	71,13
1K	200	508	3,15	271	-62,31	65,46
10K	200	384	0,72	1.6	-66,89	67,60
20k	200	261	-2,64	1.57	-67,05	64,41

Tabulka 18 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály zesilovače LINE DIS.

f [Hz] LINE.DIS	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	200	518	3,32	170	-66,36	69,68
500	200	518	3,32	175	-66,11	69,43
1K	200	518	3,32	171	-66,31	69,63
10K	200	382	0,67	183	-65,72	66,39
20k	200	220	-4,12	183	-65,72	61,60

Tabulka 19 Naměřené hodnoty přeslechů mezi kanály MIC zesilovače.

f [Hz] MIC	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	3	104	-10,63	173	-66,21	55,58
500	3	104	-10,63	170	-66,36	55,73
1K	3	104	-10,63	172	-66,26	55,63
10K	3	84	-12,48	170	-66,36	53,88
20k	3	58.4	-15,64	173	-66,21	50,57

Tabulka 20 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a MIC.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ MIC	$A_u[dB]$ MIC	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	166	-66,57	69,72
500	200	510	3,18	174	-66,16	69,34
1K	200	508	3,15	172	-66,26	69,41
10K	200	384	0,72	171	-66,31	67,03
20k	200	267	-2,44	169	-66,41	63,97

Tabulka 21 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a gram. s OZ.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMOZ	$A_u[dB]$ GRAMOZ	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	98	-71,14	74,29
500	200	510	3,18	99	-71,06	74,24
1K	200	508	3,15	106	-70,46	73,61
10K	200	384	0,72	112	-69,98	70,70
20k	200	267	-2,44	132	-68,56	66,12

Tabulka 22 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupy LINE s OZ a gram. s DIS.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMDIS	$A_u[dB]$ GRAMDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	266	-62,47	65,62
500	200	510	3,18	328	-60,65	63,83
1K	200	508	3,15	450	-57,90	61,05
10K	200	384	0,72	642	-54,82	55,54
20k	200	267	-2,44	515	-56,73	54,29

Tabulka 23 Naměřené hodnoty přeslechů mezi vstupem LINE s OZ a LINE s DIS.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ LINEDIS	$A_u[dB]$ LINEDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	155	-67,16	70,31
500	200	510	3,18	162	-66,78	69,96
1K	200	508	3,15	162	-66,78	69,93
10K	200	384	0,72	190	-65,39	66,11
20k	200	267	-2,44	178	-65,96	63,52

5.5 Přebuditelnost

Měření bylo provedeno pro vstupy LINE s Dis. A OZ. Zvyšováním vstupního signálu docházelo na výstupu zesilovače k jeho zkreslení. Pomocí hodnoty výstupního signálu těsně před zkreslením a jmenovité výstupní úroveň signálu můžeme vypočítat přebuditelnost vstupu podle vztahu

$$P = 20 \log \frac{U_{2lim}}{U_{2jmen}} \quad (5.4)$$

$U_{2lim} = OZ \ 15V, \ DIS \ 23,3$ Napětí na výstupu, kdy dojde ke zkreslení signálu.

$U_{2jmen} = OZ \ 1.53V, \ 1.53$ Jmenovité výstupní napětí je takové, které vybudí jmenovité vstupní napětí 200mV.

Výsledné hodnoty jsou pro zapojení s OZ 19,88dB a pro diskretní prvky hodnota nabývá 23dB.

6 ZÁVĚR

Na začátku práce jsem se zabýval návrhem návrh jednotlivých vstupních obvodů a jejich simulací v programu OrCad Spice. Při návrhu obvodů s OZ jsem vyšel z jejich základních principů zapojení, pomocí výpočtu jsem navrhl hodnoty jednotlivých součástek. U diskretních obvodů jsem upravil hodnoty rezistorů tak, aby zapojení splňovalo zadání. Poté jsem provedl střídavou stejnosměrnou a časovou analýzu pro všechny vstupy přípravku.

V druhé části této práce jsem měl za úkol celkovou konstrukci a oživení zařízení. Experimentálně jsem upravil hodnoty součástek tak, aby výsledné hodnoty odpovídaly co nejvíce zadání. U mikrofonního vstupu jsem byl nucen kvůli velké úrovni šumu na výstupu zapojení připojit paralelně ke kolektoru a bázi tranzistoru BC55B kondenzátor o hodnotě 82 pF. Ten měl za následek zvětšení kapacity přechodu B-C a výsledné snížení výstupního šumu. Při návrhu celého zařízení jsem zapomněl na připojení výstupního vazebního kondenzátoru pro odrušení stejnosměrné složky na koncovém napěťovém sledovači. Kondenzátor tedy proto není v osazovacích plánech desky.

V poslední části bakalářské práci jsem měl za úkol proměřit výsledné zařízení a vymyslet laboratorní úlohu. Výsledný přípravek umožňuje měření frekvenčních charakteristik, vstupní impedance, THD+N, přeslechu mezi vstupy či kanály a přebuditelnost přípravku.

Naměřené hodnoty THD+N nepřesahují 1 %, a to jak na frekvenci 1 kHz, tak i na 8kHz, což je maximální možná frekvence, kterou jsem byl schopen s dostupným zařízením změřit. To platí pro hodnoty THD+N, které byly změřeny při jmenovitém vybuzení vstupního zesilovače. Na hodnotě THD+N především velice záleží na vysokých kmitočtech, kde je na něj ucho více citlivé než na nízkých kmitočtech. Výsledky dosažené u gramofonového vstupu jsou dosti zavádějící. Protože už na nejnižším kmitočtu, pro který jsem mohl změřit zkreslení, byl vstupní signál tlumen vlivem RIAA charakteristiky.

Hodnoty přeslechu se pohybují v rozmezí od 50 dB do 77 dB. Lepších hodnot dosahovaly obvody řešené pomocí OZ. Nejhorší hodnoty jsem naměřil u vstupu pro mikrofon a gramofon. Důvodem je velmi malá vstupní a výstupní úroveň signálu. U gramofonového vstupu byl opět problém s RIAA charakteristikou. Zvyšováním frekvence signálu má za následek zhoršení přeslechu u všech stupňů.

Přebuditelnost vstupu LINE s OZ vyšla 19,88 dB, u diskretních součástek bylo přebuzení až 23 dB.

LITERATURA

- [1] ŽALUD, Václav a Valentin Nikolajevič KULEŠOV. *Polovodičové obvody s malým šumem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 464 s.
- [2] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 4. doplň. vyd. Praha: Ben, 1999, 495 s. ISBN 80-901984-3-0.
- [3] ČERMÁK, Jindřich. Návrh a konstrukce nízkofrekvenčních tranzistorových zesilovačů: určeno [také] pro stud. odb. škol. 2. vyd. Praha: SNTL, 1974. 322, [1] s. Polovodičová technika, sv. 9.
- [4] DOSTÁL, Jiří. 1981. *Polovodičová technika: Operační zesilovače*. Praha: Nakladatelství technické literatury.
- [5] TMSOFT: White Noise Player [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <https://www.tmssoft.com/white-noise-player/>
- [6] Operační zesilovače pro nf techniku: Speciální operační zesilovače GM electronic [online]. [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.gme.cz>
- [7] KOTISA, Zdeněk. NF zesilovače. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 95 s. ISBN 80-730-0030-X.
- [8] Předzesilovač pro gramofon. BELZA, Jaroslav. Elektronika - zapojení, návody a konstrukce [online]. 21. 3. 2000 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.belza.cz/audio/phono.htm>
- [9] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 231 s. ISBN 978-80-7300-187-2.
- [10] HEJNÝ, Josef. Vstupní nízkofrekvenční korekční zesilovač. Vysoké Učení Technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav radioelektroniky. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
- [11] TRANSISTOR RIAA PREAMP CONFIGURATION. DESIGN WITH DISCRETE TRANSISTORS: TRANSISTOR RIAA PREAMP CONFIGURATION [online]. 1. 5. 2010 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.aqpl43.dsl.pipex.com/ampins/discrete/2Q-RIAA/2Q-RIAA.htm>
- [12] STANĚK, Radomír. Jak vám to brumí? Symetrické a nesymetrické zapojení ve zvukařské praxi. In: Muzikus.cz [online]. 22. 11. 2014 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Jak-vam-to-brumi-Symetricke-a-nesymetricke-zapojeni-ve-zvukarske-praxi~22~listopad~2004/>
- [13] KRATOCHVÍL, Tomáš. *Mikrofony a reproduktory: Rozdělení mikrofونů*. Brno. Presentace. VUT v Brně, FEKT Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
- [14] SEDLÁK, Josef. Zkreslení II - definice zkreslení. [online]. zesilovače. 24. 12. 2002 [cit. 2014-12-10]. Dostupné z: <http://www.zesilovace.cz/view.php?cislocianku=2002122406>
- [15] *Vyhodnocení odebíraných proudů spotřebičů používaných v domácnostech a kancelářích* [online]. Katedra elektroenergetiky a ekologie, Západočeská univerzita v Plzni [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: http://www.kee.zcu.cz/files/laboratore/Uloha1-harmonicke_proudy.pdf. Západočeská univerzita v Plzni.
- [16] Zesilovače - parametry, výkony, limitace. In: *Audioweb.cz* [online]. 14. 4. 2007 [cit. 2014-12-13]. Dostupné z: <http://www.audioweb.cz/viewtopic.php?id=15684>

- [17] MICHÁLE, Jiří, Petr GRATZ a Michal KELLNER. Měření a parametry zesilovačů (2. část): Odstup signál/šum. In: Hw.cz [online]. 22. 5. 2000 [cit. 2014-12-12]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-a-parametry-zesilovacu-2cast.html>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

OZ	Operační zesilovač.
THD	Harmonické zkreslení „total harmonic distortion“.
Nf	Nízkofrekvenční.
MIC	Mikrofonový.
U	Napětí [V].
I	Proud [I].
P	Výkon [W].
B	Šířka pásma[Hz].
Au	Napětíové zesílení [-].
G	Přenos [dB].
U_{2lim}	Výstupní napětí těsně před limitací ve [V].
U_{2jmen}	Výstupní jmenovité napětí ve [V].
u_n	Šum na vstupu jednoho tranzistoru [V].
u_d	Šum výsledného diferenciálního zapojení [V].
u_p	Šum paralelního spojení n tranzistorů [V].
i_p	Šum paralelního spojení n tranzistorů [A].
i_n	Šum na vstupu jednoho tranzistoru [A].
i_d	Šum výsledného diferenciálního zapojení [A].
n	Stupeň diferenciálního zapojení[-].
f_{m1}	Dolní mezní kmitočet.
f_{m2}	Horní mezní kmitočet.
L	Limitace výstupního napětí[dB].
Gram.	Gramofonový vstup.
DIS.	Diskrétní součástky.

A.1 Laboratorní úloha

Nízkofrekvenční elektronika (BNFE, KNFE)

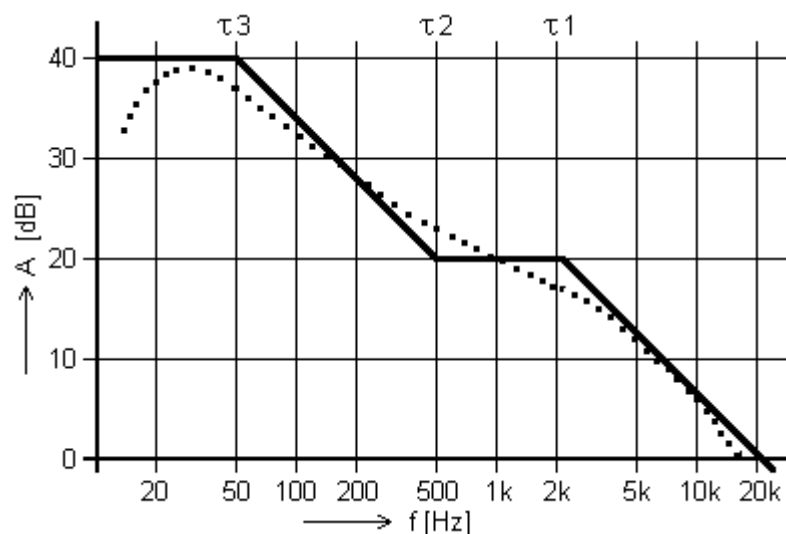
Laboratorní úloha č. - teoretická část

Vstupní nízkofrekvenční zesilovač

Laboratorní úloha se zabývá problematikou vstupní nf zesilovačů pro různé zdroje signálu. Přípravek je vybaven celkem šesti vstupními obvody a celé zařízení je konstruováno jako stereofonní. To umožňuje měření přeslechů mezi vstupy. Studenti se dále seznámí s dalšími parametry vstupních nf zesilovačů, jako je například vstupní citlivost, vstupní impedance, přenosová charakteristika a dalšími.

ÚVOD

Přípravek je vybaven vstupy, které se hojně vyskytují v audiotechnice. První vstup je pro gramofonovou přenosku. Existují dva druhy přenosky, a to výchylková (piezoelektrická) a rychlostní. Nejvíce se používají přenosky Magnetodynamické (rychlostní), ty se dělí na dvě kategorie (Moving Magnet = MM a Moving Coil = MC), u některých typů se místo permanentního magnetu používá elektromagnet. Velkou výhodou rychlostních přenosky je menší potřebná přitlačná síla, to vede k delší životnosti gramofonových desek. Vstupní citlivost přenosky s pohyblivým magnetem je 3-10mV a s pohyblivou cívkou je citlivost 1mV. MM přenoska vyžaduje vstupní impedanci předzesilovače 47k Ω . Pro přenosovou charakteristiku přenosky je charakteristická RIAA korekce, která má na 20KHz pokles o 40dB (viz Obr.1). Přípravek obsahuje dva vstupy pro gramofon, a to s použitím operačního zesilovače a s diskrétními prvky. U OZ je levý a pravý kanál zpracováván integrovaným obvodem NE5532N, který ve svém pouzdře obsahuje dva obvody. V zapojení s diskrétními prvky jsou použity tranzistory BC546A.



Obr.1

Dalším vstupem je vstup pro mikrofon, můžeme je rozdělit na tlakový, gradientní a vlnový. U tlakového mikrofonu působí akustická vlna pouze na jednu stranu membrány. Velikost výstupní amplitudy nezávisí na směru ani vzdálenosti zdroje signálu. Tlakové mikrofony mají kulovou všesměrovou charakteristiku. U gradientních mikrofonů dopadá akustická vlna na obě strany membrány. Výsledný signál je dán rozdílem akustických tlaků. Vlnové mikrofony se vyznačují vysokou směrovostí. Z pohledu konstrukce rozeznáváme mikrofony elektrodynamické, elektromagnetické a elektrostatické.

Konstrukce vstupního zesilovače pro mikrofon je sestavena pouze s diskrétními prvky, a to s tranzistory typu BC550C. Pro zlepšení vlastností tranzistoru byl použit kondenzátor připojený paralelně ke kolektoru a bazi. Vstupní citlivost elektrodynamických mikrofonů se pohybuje od 1,5mV až 3mV a jejich impedance je ve stovkách ohmů. Pro měření byla zvolena vstupní úroveň signálu 3mV.

Poslední dvojice vstupů jsou si velmi podobné, jedná se o linkový a AUX (Auxiliary) vstup. Vstup LINE je sestaven dvěma způsoby, pomocí OZ a diskrétních prvků. Vstup pro AUX je velice podobný vstupu LINE, rozdílem je vstupní impedance, kterou mají odlišnou. V přípravku jsou tyto vstupy řešeny jedním OZ NE5532. Pomocí přepínače vstupů 1 volíme požadovanou vstupní impedanci a následně si volíme zpětnou vazbu. Je možné si vybrat mezi pevně nastavenou výstupní úrovní signálu 775mV, nebo pomocí potenciometru regulovat výstupní úroveň od 200mV do 1,5V. Zapojení s diskrétními prvky je realizován pouze vstup LINE, obsahuje také regulaci zesílení.

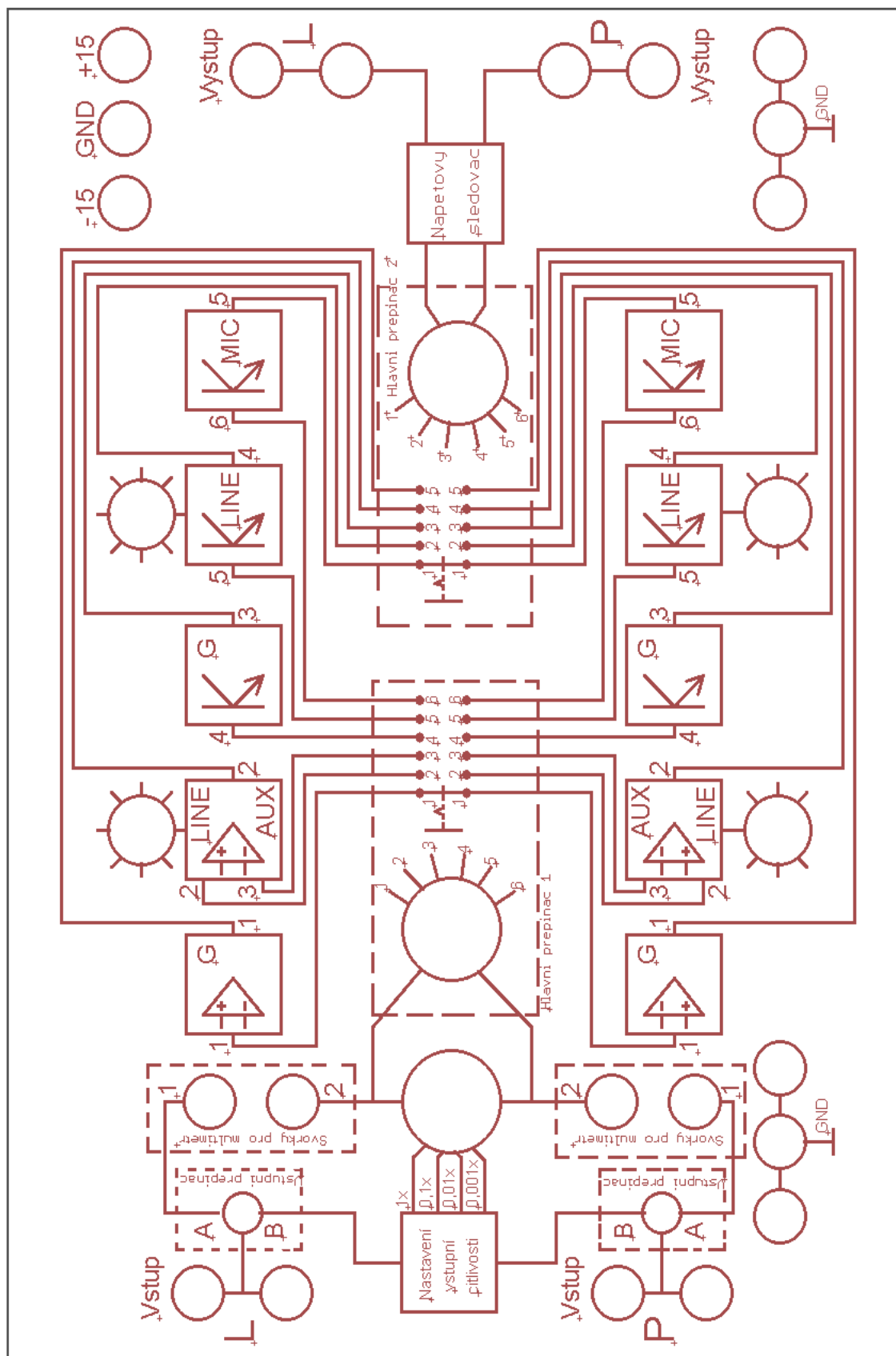
Přípravek obsahuje vstupní přepínač, díky kterému můžeme signál na vstupu přivést buď k hlavnímu přepínači 1, nebo na vstup odporového děliče, kde se upravuje vstupní citlivost. Hlavním přepínačem 1 potom volíme jeden ze vstupů. Hlavním přepínačem 2 vybíráme výstup zesilovače. Pokud tedy hlavní přepínač 1 nastavíme do polohy 3, musíme hlavní přepínač 2 nastavit také do polohy 3. Neplatí pro měření přeslechů. Celkové znázornění zařízení je na obrázku (Obr.2).

ZADÁNÍ

1. Změřte přenosovou charakteristiku pro dané vstupy přípravku a vynesete do připravených grafů.
2. Změřte vstupní impedanci vstupních zesilovačů.
3. Změřte harmonické zkreslení u daných vstupů.
4. Změřte přeslechy mezi danými vstupy a kanály.
5. Změřte přebuditelnost vstupního zesilovače.

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je charakteristické pro gramofonový vstup a pro jaký typ přenosky je určen předzesilovač v přípravku?
2. Jaká je vstupní impedance vstupu pro mikrofon a jakých hodnot nabývá vstupní signál? Pro jaký mikrofon je předzesilovač konstruován?
3. Jaké jsou vstupní impedance vstupu LINE a AUX?



Obr.2 Přední panel přípravku

Laboratorní úloha č. - Protokol

Vstupní nízkofrekvenční zesilovač

Jméno a příjmení:.....Studijní skupina:.....

Datum a čas měření:.....Hodnocení vyučujícího:.....

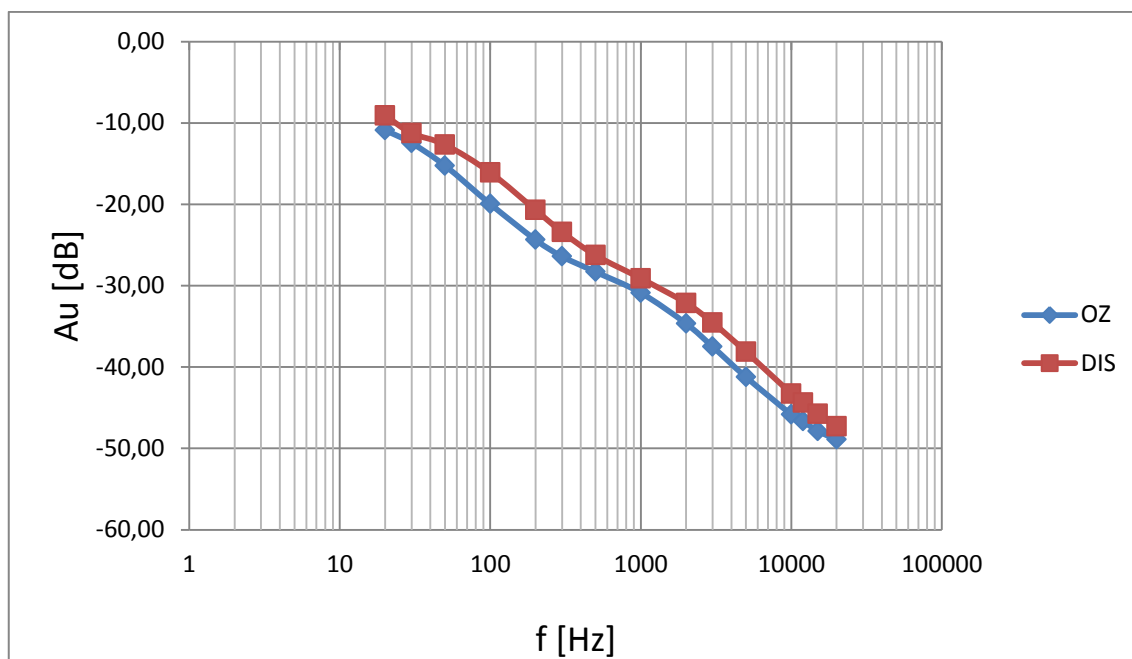
1. Změřte frekvenční charakteristiky.

Připojte generátor k levému nebo pravému vstupu a nastavte vstupní přepínač do polohy A. Mezi svorky pro multimetr zařaďte propojku, Hlavním přepínačem 1 a 2 si volíte požadovaný vstup a výstup.

A. Pro gramofonový vstup, použijte útlumový člen 100x a nastavte na generátoru 300mVrms. To znamená, že na vstupu zesilovače bude požadovaná úroveň signálu 3mV. Výstupní signál připojte k milivoltmetru MG100. (Pozor, přístroj MG100 udává hodnoty v RMS, je nutné si je přepočítat na hodnotu V_{pp}). Přepínač na vstupu nastavte do polohy A a mezi zdířky pro multimetr vložte propojku. Hlavní přepínač nastavte do příslušných poloh. Měření proveďte pro zapojení s OZ i DIS prvky a porovnejte v grafu.

Tabulka 1 Tabulka pro gramofonový vstup

Údaje gen.	OZ		DIS	
f [Hz]	$U_2[mV_{rms}]$	$A_u[dB]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
20	101	-10,88	124	-9,10
30	84,1	-12,47	96,8	-11,25
50	61,1	-15,25	82,2	-12,67
100	35,5	-19,96	55,4	-16,10
200	21,4	-24,36	32,6	-20,70
300	16,9	-26,41	23,9	-23,40
500	13,6	-28,30	17,2	-26,26
1000	10,1	-30,88	12,4	-29,10
2000	6,54	-34,66	8,75	-32,13
3000	4,72	-37,49	6,63	-34,54
5000	3,07	-41,23	4,39	-38,12
10000	1,81	-45,82	2,43	-43,26
12000	1,64	-46,67	2,14	-44,36
15000	1,43	-47,86	1,82	-45,77
20000	1,27	-48,89	1,53	-47,28

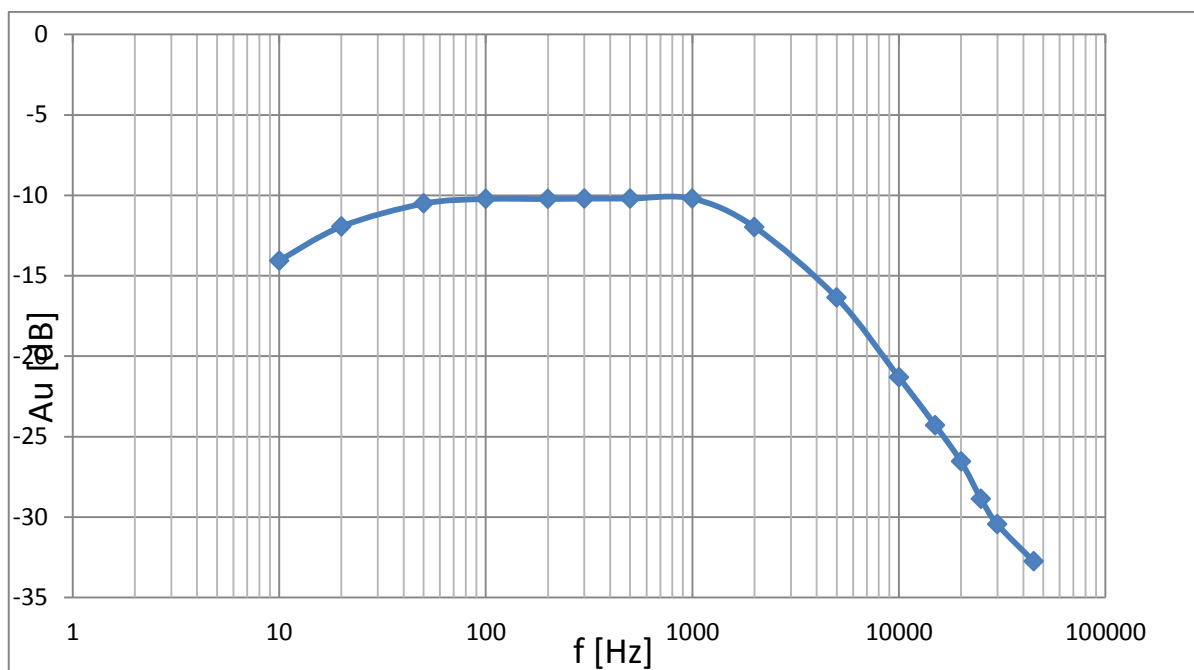


Graf. 1 Modulová frekvenční charakteristika obvodu s RIAA korekcí.

B. Mikrofonní vstup, použijte útlumový člen 100x a nastavte na generátoru 300mV. Nastavte hlavní přepínač 1 a 2 do příslušných poloh, jinak vše ponechejte v původním nastavení. Výstupní signál sledujte na osciloskopu a výsledky vyneste do grafu.

Tabulka 2 Tabulka pro mikrofonní vstup

Údaje gen.	DIS	
	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
10	198	-14,5
20	253	-11,9376
50	298	-10,5157
100	308	-10,229
200	308	-10,23
300	309	-10,20
500	309	-10,20
1000	309	-10,20
2000	252	-11,97
5000	152	-16,36
10000	86	-21,31
15000	61	-24,29
20000	47	-26,56
25000	36	-28,87
30000	30	-30,46
45000	23	-32,77

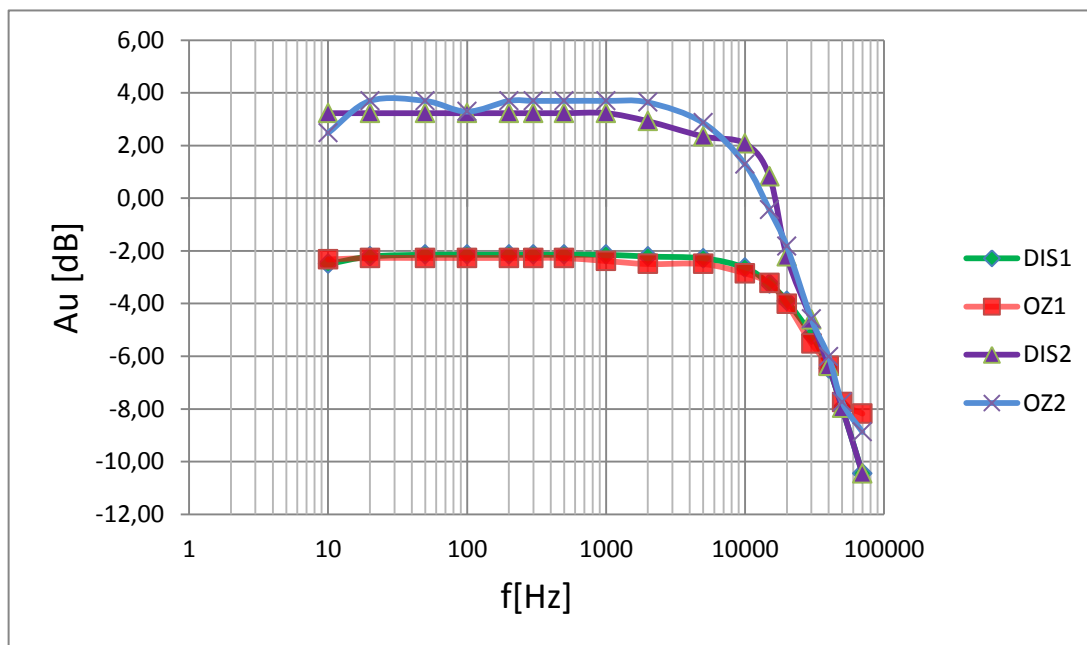


Graf. 2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofonního vstupu.

C. Změřte frekvenční charakteristiku vstupu LINE s OZ a DIS prvky. Na generátoru nastavte 200mV a připojte k příslušnému kanálu. Přepínač na vstupu přepněte do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do polohy, která přísluší vstupu LINE. Měření proved'te pro dvě různá zesílení. U OZ přepněte přepínač k nápisu LINE, díky čemuž se zařadí potenciometrem do zpětné vazby. Na generátoru nastavte výstupní úroveň 200m.

Tabulka 3 Tabulka pro vstup LINE s OZ a DIS. prvky

Údaje gen.	OZ (zesílení 1)		OZ (zesílení 2)		DIS (zes1)		DIS (zes2)	
f [Hz]	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$U_2[mV]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$A_u[dB]$
10	765	-2,33	1.33	2,48	750	-2,50	1.45	3,23
20	770	-2,27	1.53	3,69	775	-2,21	1.45	3,23
50	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
100	770	-2,27	1.46	3,29	781	-2,15	1.45	3,23
200	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
300	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
500	770	-2,27	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
1000	760	-2,38	1.53	3,69	781	-2,15	1.45	3,23
2000	750	-2,50	1.52	3,64	775	-2,21	1.4	2,92
5000	750	-2,50	1.39	2,86	769	-2,28	1.31	2,35
10000	720	-2,85	1.16	1,29	738	-2,64	1.27	2,08
15000	690	-3,22	950	-0,45	688	-3,25	1.1	0,83
20000	630	-4,01	810	-1,83	638	-3,90	0.775	-2,21
30000	530	-5,51	590	-4,58	550	-5,19	0.588	-4,61
40000	480	-6,38	500	-6,02	475	-6,47	0.48	-6,38
50000	410	-7,74	410	-7,74	400	-7,96	400	-7,96
70000	390	-8,18	360	-8,87	300	-10,46	300	-10,46

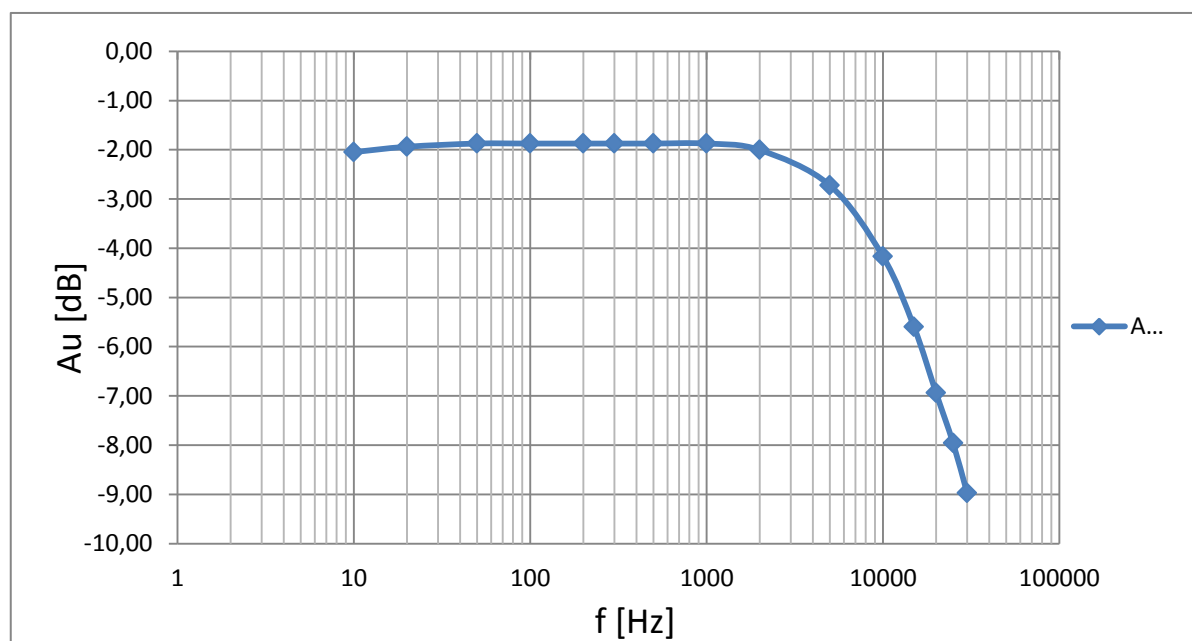


Graf. 3 Modulová frekvenční charakteristika vstupu LINE s OZ a DIS.

D. Změřte frekvenční charakteristiku vstupu AUX s pevně nastavitelným zesílením. Na generátoru nastavte úroveň 200mV a připojte ho k jednomu z kanálů. Přepínač na vstupu přepněte do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do polohy, která přísluší vstupu AUX. Pro nastavení pevného zesílení přepněte přepínač zpětné vazby do polohy směrem k nápisu AUX.

Tabulka 4 Tabulka pro vstup AUX

Údaje gen.		AUX	
f [Hz]	$U_1[mV]$	$U_2[mV]$	Au dB
10	200	790	-2,05
20	200	800	-1,94
50	200	806	-1,87
100	200	806	-1,87
200	200	806	-1,87
300	200	806	-1,87
500	200	806	-1,87
1000	200	806	-1,87
2000	200	794	-2,00
5000	200	731	-2,72
10000	200	619	-4,17
15000	200	525	-5,60
20000	200	450	-6,94
25000	200	400	-7,96
30000	200	356	-8,97



Graf.4 Modulová frekvenční charakteristika vstupu AUX

2. Změřte vstupní impedanci předzesilovačů.

Do přívodu mezi generátor a přípravek do série vložte cejchovaný proměnný odpor cca 100 k Ω . Při nastavené hodnotě odporu 0 Ω nastavte výstupní napětí na hodnotu, kterou vybudí jmenovitá vstupní úroveň měřeného vstupu. Pak zvyšujte vložený odpor, až výstupní napětí klesne na polovinu. Na stupnici přímo odečtete velikost vstupního odporu (pochopitelně pouze modulu vstupní impedance, nejsme schopni rozlišit případnou imaginární složku vstupní impedance). Měřte na kmitočtu $f = 1\text{ kHz}$.

Tabulka 5 Vstupní impedance jednotlivých vstupů.

	$U_1 [\text{mV}]$	$Z [\Omega]$
LINE	200mV	11k
AUX	200mV	11k
MIC	3mV	<10k
Gram.	3mV	49k

3. Změřte harmonické zkreslení a THD+N

Měřte u všech vstupů a alespoň na dvou vhodných frekvencích. U vstupu LINE nastavte vždy maximální zesílení. Měřte na výstupu přípravku nízkofrekvenčním milivoltmetrem. Nejdříve nastavte na milivoltmetru měření harmonického zkreslení „harm. dist.” A potvrďte stiskem „Enter/Loc”. Pomocí tlačítek „Freg” nastavte požadovanou frekvenci a multifunkčním voličem vyberte postupně měření U_2 (Level [V]), k_2 (Dist at 2*f [%]) a k_3 (Dist at 3*f [%]). Dále změřte pro stejné hodnoty výstupního napětí i harmonické zkreslení $THD+N$ [%]. Nastavte na milivoltmetru měření harmonického zkreslení „THD+N” a potvrďte stiskem „Enter/Loc”. Proveďte cca 5 měření pro nelimitované i limitované výstupní napětí U_2 (limitaci pozorujte na osciloskopu).

Tabulka 6 Vstup MIC pro kmitočet 1 kHz

$U_1 [\text{mV}]$	$U_2 [\text{mVrms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3	10,3	0,0792	0,0170	7,870
3	102	0,5977	0,0024	0,965
30	1331	6,049	0,36	6,85
10	340	2,011	0,039	1,305
50	2,1	18,3	1,698	15,1

Tabulka 7 Vstup MIC pro kmitočet 4 kHz

$U_1 [\text{mV}]$	$U_2 [\text{mVrms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3	7,8	0,0356	0,146	11,2
3	61,58	0,203	0,0020	1,08
10	214	0,471	0,0078	0,573
30	1,29	10,27	0,546	6,781
50	2,0	16,67	1,447	16,5

Tabulka 824 Gram. OZ Pro kmitočet 250Hz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	1,8	0,0787	0,1445	17,6
3	18,7	0,0078	0,0140	1,758
10	62,3	0,0043	0,0035	0,515
30	207	0,073	0,0055	0,470
100	688	0,0043	0,0105	0,162

Tabulka 9 Gram. OZ Pro kmitočet 1kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	1,04	0,0576	0,0345	29,8
3	10,2	0,0069	0,0039	3,574
10	33,8	0,0034	0,0015	0,952
30	112	0,0038	0,0049	0,656
100	373	0,0041	0,0109	0,156

Tabulka 10 Gram DIS. pro kmitočet 1kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	1,23	0,0338	0,0298	34,6
3	12,3	0,0062	0,0029	3,898
10	40,9	0,0079	0,0013	1,206
30	136	0,1313	0,0043	0,593
100	450	0,1874	0,1311	0,291

Tabulka 11 Gram. DIS. pro kmitočet 250Hz GRAM DIS

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3	2,66	0,0482	0,2557	16,3
3	26,6	0,0064	0,0248	1,613
10	88,6	0,0072	0,0087	0,531
30	293	0,0234	0,0214	0,300
100	698	20,175	8,111	21,5

Tabulka 12 LINE DIS. pro kmitočet 1kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00222	0,056	0,0213	3,876
0,05	0,111	0,0076	0,0046	2,686
0,2	0,510	0,0087	0,0087	0,034
2	5,100	0,0223	0,0126	0,31
5	11,100	4,338	9,436	11,3

Tabulka 13 LINE DIS pro kmitočet 8kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00185	0,0154		45
0,5	0,106	0,0028		0,133
0,2	0,423	0,0051		0,036
2	4,22	0,0190		0,030
5	10,1	2,357		2,414

Tabulka 14 LINE OZ pro kmitočet 1kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00205	0,0406	0,0585	12,6
0,5	0,119	0,0076	0,0043	0,201
0,2	0,477	0,0078	0,0025	0,051
2	4,77	0,0091	0,0023	0,034
5	10,8	4,447	6,728	8,470

Tabulka 15 LINE OZ pro kmitočet 8kHz

$U_1[mV]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001	0,00173	0,1347		17,3
0,5	0,0997	0,0048		0,236
0,2	0,399	0,0059		0,098
2	3,990	0,0151		0,029
5	9,77	2,329		2,012

4 Změřte přeslechy mezi danými vstupy a kanály

A. Nejdříve si změříme přeslech mezi levým a pravým kanálem, a to pro všechny vstupy. Připojte generátor pouze k jednomu z kanálů, například k pravému. Nastavte vstupní přepínač do polohy A a mezi svorky pro multimetr vložte propojku. Hlavní přepínače nastavte vždy na požadovaný vstup. U vstupu LINE nastavte vždy maximální zesílení. Přepínač zpětné vazby nastavte tak, aby směřoval k nápisu LINE a vytočte ho na maximum. Měření proveďte pro pět různých kmitočtů.

Tabulka 16 Přeslech mezi kanály u vstupu LINE s OZ.

f [Hz] LINE.OZ	U_1 [mV] P	U_2 [mVrms] P	A_u [dB] P	U_2 [uVrms] L	A_u [dB] L	Přeslech [dB]
200	200	508	3,15	70.0	-74,07	77,22
500	200	508	3,15	141	-67,98	71,13
1k	200	508	3,15	271	-62,31	65,46
10k	200	384	0,72	1.6	-66,89	67,60
20k	200	261	-2,64	1.57	-67,05	64,41

Tabulka 17 Přeslech mezi kanály u vstupu LINE s DIS

f [Hz] LINE.DIS	U_1 [mV] P	U_2 [mVrms] P	A_u [dB] P	U_2 [uVrms] L	A_u [dB] L	Přeslech [dB]
200	200	518	3,32	170	-66,36	69,68
500	200	518	3,32	175	-66,11	69,43
1k	200	518	3,32	171	-66,31	69,63
10k	200	382	0,67	183	-65,72	66,39
20k	200	220	-4,12	183	-65,72	61,60

Tabulka 18 Přeslech mezi kanály u MIC vstupu.

f [Hz] MIC	U_1 [mV] P	U_2 [mVrms] P	A_u [dB] P	U_2 [uVrms] L	A_u [dB] L	Přeslech [dB]
200	3	104	-10,63	173	-66,21	55,58
500	3	104	-10,63	170	-66,36	55,73
1k	3	104	-10,63	172	-66,26	55,63
10k	3	84	-12,48	170	-66,36	53,88
20k	3	58.4	-15,64	173	-66,21	50,57

B. V druhém bodě tohoto měření zjistíme přeslech mezi vstupy. Nastavení ponechte stejné jako v předchozím bodě, jen s tím rozdílem, že hlavní přepínače nastavuje podle tabulky

Tabulka 19 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a MIC

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ MIC	$A_u[dB]$ MIC	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	166	-66,57	69,72
500	200	510	3,18	174	-66,16	69,34
1k	200	508	3,15	172	-66,26	69,41
10k	200	384	0,72	171	-66,31	67,03
20k	200	267	-2,44	169	-66,41	63,97

Tabulka 20 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a Gram. s OZ

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMOZ	$A_u[dB]$ GRAMOZ	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	98	-71,14	74,29
500	200	510	3,18	99	-71,06	74,24
1k	200	508	3,15	106	-70,46	73,61
10k	200	384	0,72	112	-69,98	70,70
20k	200	267	-2,44	132	-68,56	66,12

Tabulka 21 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a Gram. s DIS..

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMDIS	$A_u[dB]$ GRAMDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	266	-62,47	65,62
500	200	510	3,18	328	-60,65	63,83
1k	200	508	3,15	450	-57,90	61,05
10k	200	384	0,72	642	-54,82	55,54
20k	200	267	-2,44	515	-56,73	54,29

Tabulka 22 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a LINE s DIS.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ LINEDIS	$A_u[dB]$ LINEDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200	508	3,15	155	-67,16	70,31
500	200	510	3,18	162	-66,78	69,96
1k	200	508	3,15	162	-66,78	69,93
10k	200	384	0,72	190	-65,39	66,11
20k	200	267	-2,44	178	-65,96	63,52

5. Změřte přebuditelnost vstupního zesilovače u vstupu LINE s OZ a s diskretními prvky.

Připojte generátor k levému kanálu a přepněte příslušný přepínač na vstupu do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do příslušných poloh, pro LINE tedy do polohy 2 a 2. Přepínač zpětné vazby přepněte do směru nápisu LINE a nastavte maximální zesílení. Poté nastavte na generátoru 200mV (jmenovité vstupní napětí) a zvyšujte vstupní napětí. Na osciloskopu sledujte výstupní průběh a zaznamenejte hodnotu vstupního napětí, když signál na výstupu začne být zkreslený. To znamená, že se zesilovač už nepohybuje v lineární části křivky. Měření opakujte pro vstup LINE s diskretními prvky. U tohoto vstupu nastavte zesílení tak, aby při vstupním napětí 200mV byl výstupní signál 775mV. Dosažené hodnoty porovnejte. Přebuditelnost převed'te do decibelů pomocí vztahu

$$P = 20 \times \log \frac{U_{2lim}}{U_{2jmen}}$$

$U_{2lim} = OZ \ 15V, \ DIS \ 23,3$ Napětí na výstupu, kdy dojde ke zkreslení signálu.

$U_{2jmen} = OZ \ 1.53V, \ 1.53$ Jmenovité výstupní napětí je takové, které vybudí jmenovité vstupní napětí 200mV.

$P_{LINE,OZ} = 19.88[dB]$

$P_{LINE,DIS} = 23[dB]$

POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

GEN nízkofrekvenční funkční generátor Agilent 33220A

NMV nízkofrekvenční milivoltmetr Grundig MV100

OSC digitální osciloskop Agilent 54621A 60 MHz

NZ napájecí zdroj MCP M10-DP-305E (napájení přípravku $\pm 15V$)

měřený přípravek „Vstupní nf zesilovač“

vstupní cejchovaný proměnný odpor 100 k Ω

propojovací vodiče 4 x BNC-BNC

dělič -40dB (1:100)

ZÁVĚR:

(Zde každý student čitelně doplní své individuální hodnocení výsledků měření a potvrdí jej

svým podpisem. Je třeba podrobně komentovat každý bod měření, každou měřenou charakteristiku nebo jednotlivý výsledek. Závěr by měl vždy přehledně shrnovat technické

parametry měřeného přípravku a jejich vyhodnocení.)

Laboratorní úloha č. - Protokol

Vstupní nízkofrekvenční zesilovač

Jméno a příjmení:.....Studijní skupina:.....

Datum a čas měření:.....Hodnocení vyučujícího:.....

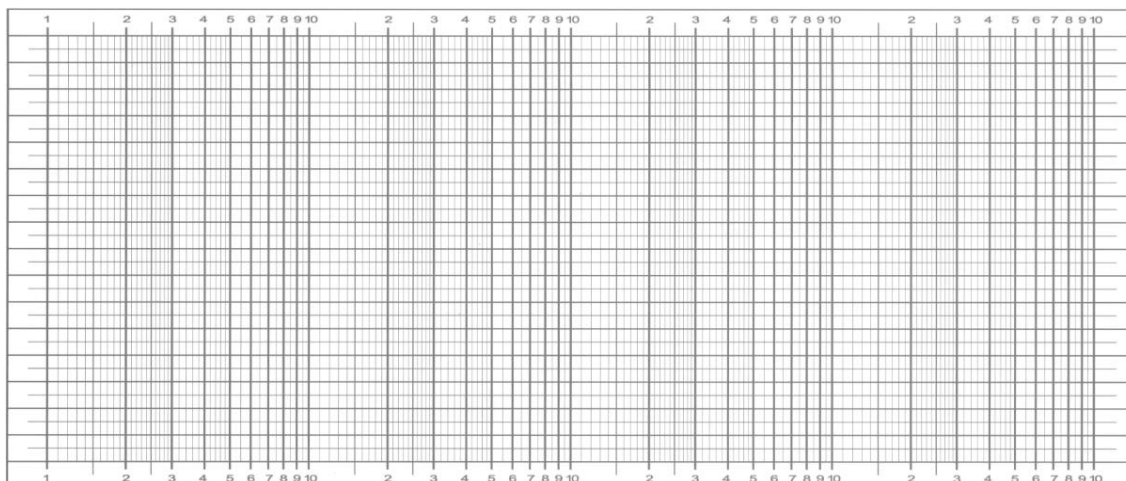
1. Změřte frekvenční charakteristiky.

Připojte generátor k levému nebo pravému vstupu a nastavte vstupní přepínač do polohy A. Mezi svorky pro multimetr zařaďte propojku, Hlavním přepínačem 1 a 2 si volíte požadovaný vstup a výstup.

A. Gramofonový vstup, použijte útlumový člen 100x a nastavte na generátoru 300mVrms. To znamená, že na vstupu zesilovače bude požadovaná úroveň signálu 3mV. Výstupní signál připojte k milivoltmetru MG100. (Pozor, přístroj MG100 udává hodnoty v RMS, je nutné si je přepočítat na hodnotu V_{pp}). Přepínač na vstupu nastavte do polohy A a mezi zdířky pro multimetr vložte propojku. Hlavní přepínač nastavte do příslušných poloh. Měření proveďte pro zapojení s OZ i DIS prvky a porovnejte v grafu.

Tabulka 1 Tabulka pro gramofonový vstup

Údaje gen.	OZ		DIS	
f [Hz]	$U_2[mV_{rms}]$	$A_u[dB]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
20				
30				
50				
100				
200				
300				
500				
1000				
2000				
3000				
5000				
10000				
12000				
15000				
20000				

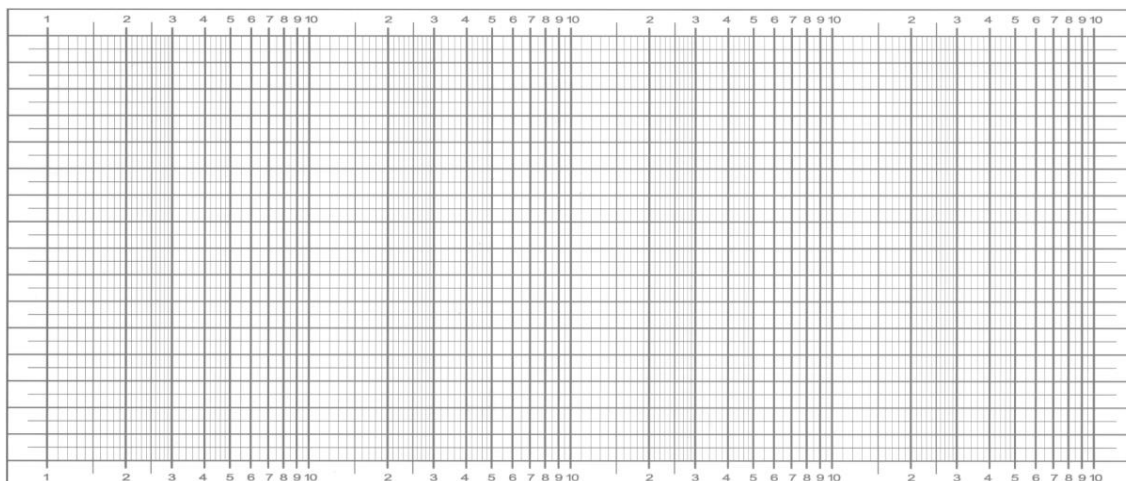


Graf.1 Modulová frekvenční charakteristika obvodu s RIAA korekcí

B. Mikrofonní vstup, použijte útlumový člen 100x a nastavte na generátoru 300mV. Nastavte hlavní přepínač 1 a 2 do příslušných poloh, jinak vše ponechejte v původním nastavení. Výstupní signál sledujte na osciloskopu a výsledky vynesete do grafu.

Tabulka 2 Tabulka pro mikrofonní vstup

Údaje gen.	DIS	
f [Hz]	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$
5		
10		
20		
50		
100		
200		
300		
500		
1000		
2000		
5000		
10000		
15000		
20000		
25000		
30000		
45000		

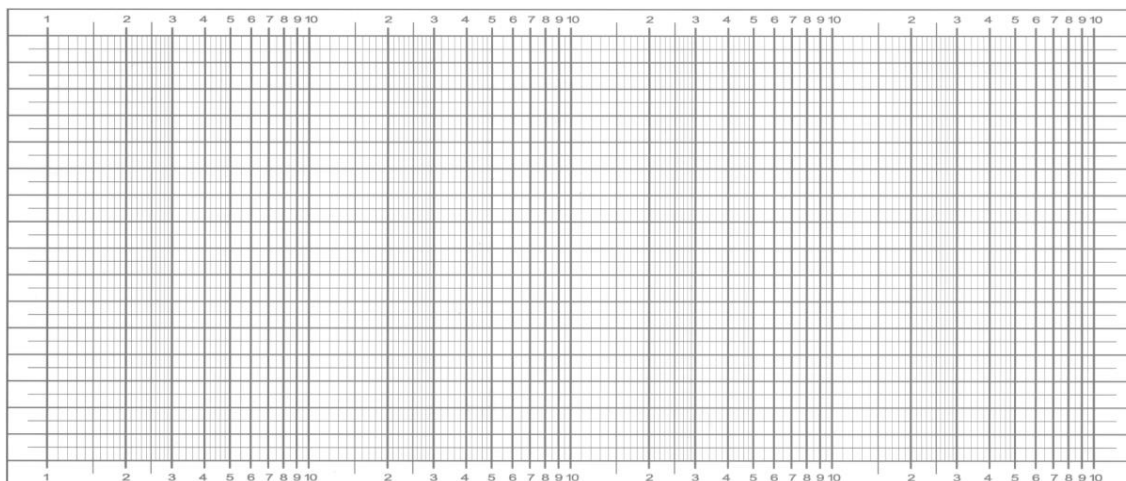


Graf. 2 Modulová frekvenční charakteristika mikrofonního vstupu.

C. Změřte frekvenční charakteristiku vstupu LINE s OZ a DIS prvky. Na generátoru nastavte 200mV a připojte k příslušnému kanálu. Přepínač na vstupu přepněte do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do polohy, která přísluší vstupu LINE. Měření proveďte pro dvě různá zesílení. U OZ přepněte přepínač k nápisu LINE, díky čemuž se zařadí potenciometrem do zpětné vazby. Na generátoru nastavte výstupní úroveň 200m. 775mV 1.6V

Tabulka 3 Tabulka pro vstup LINE s OZ a DIS. prvky

Údaje gen.	OZ (zesílení 1)		OZ(zesílení 2)		DIS (zes1)		DIS (zes2)	
f [Hz]	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$U_2[mV]$	$U_2[mV]$	$A_u[dB]$	$U_2[V]$	$A_u[dB]$
10								
20								
50								
100								
200								
300								
500								
1000								
2000								
5000								
10000								
15000								
20000								
30000								
40000								
50000								
70000								

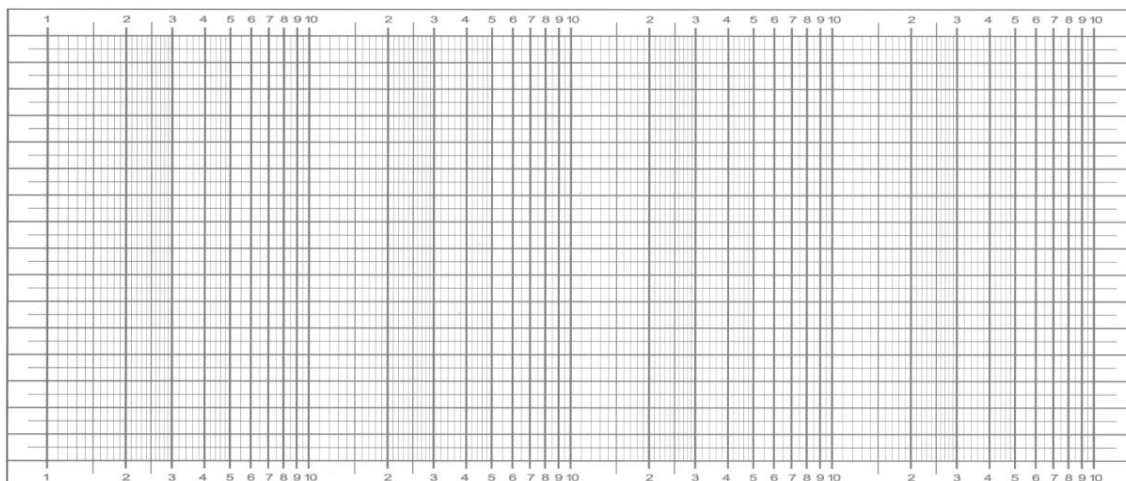


Graf. 3 Modulová frekvenční charakteristika vstupu LINE s OZ a DIS.

D. Změřte frekvenční charakteristiku vstupu AUX s pevně nastavitelným zesílením. Na generátoru nastavte úroveň 200mV a připojte ho k jednomu z kanálů. Přepínač na vstupu přepněte do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do polohy, která přísluší vstupu AUX. Pro nastavení pevného zesílení přepněte přepínač zpětné vazby do polohy směrem k nápisu AUX.

Tabulka 4 Tabulka 25 Tabulka pro vstup AUX

Údaje gen.		AUX	
f [Hz]	U_1 [mV]	U_2 [mV]	Au dB
5	200		
10	200		
20	200		
50	200		
100	200		
200	200		
300	200		
500	200		
1000	200		
2000	200		
5000	200		
10000	200		
15000	200		
20000	200		
25000	200		
30000	200		



Graf. 4 Modulová frekvenční charakteristika vstupu AUX

2. Změřte vstupní impedanci předzesilovačů.

Do přívodu mezi generátor a přípravek do série vložte cejchovaný proměnný odpor cca 100 k Ω . Při nastavené hodnotě odporu 0 Ω nastavte výstupní napětí na hodnotu, kterou vybudí jmenovitá vstupní úroveň měřeného vstupu. Pak zvyšujte vložený odpor, až výstupní napětí klesne na polovinu. Na stupnici přímo odečtete velikost vstupního odporu (pochopitelně pouze modulu vstupní impedance, nejsme schopni rozlišit případnou imaginární složku vstupní impedance). Měřte na kmitočtu $f = 1\text{kHz}$.

Tabulka 5 Vstupní impedance jednotlivých vstupů.

	$U_1 [\text{mV}]$	$Z [\Omega]$
LINE	200mV	
AUX	200mV	
MIC	3mV	
Gram.	3mV	

3. Změřte harmonické zkreslení a THD+N.

Měřte u všech vstupů a alespoň na dvou vhodných frekvencích. U vstupu LINE nastavte vždy maximální zesílení. Měřte na výstupu přípravku nízkofrekvenčním milivoltmetrem. Nejdříve nastavte na milivoltmetru měření harmonického zkreslení, „harm. dist.” A potvrďte stiskem „Enter/Loc”. Pomocí tlačítek „Freg” nastavte požadovanou frekvenci a multifunkčním voličem vyberte postupně měření U_2 (Level [V]), k_2 (Dist at 2*f [%]) a k_3 (Dist at 3*f [%]). Dále změřte pro stejné hodnoty výstupního napětí i harmonické zkreslení $THD+N$ [%]. Nastavte na milivoltmetru měření harmonického zkreslení „THD+N” a potvrďte stiskem „Enter/Loc”. Proveďte cca 5 měření pro nelimitované i limitované výstupní napětí U_2 (limitaci pozorujte na osciloskopu).

Tabulka 6 Vstup MIC pro kmitočet 1kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3				
3				
30				
10				
50				

Tabulka 7 Vstup MIC pro kmitočet 4 kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3				
3				
10				
30				
50				

Tabulka 8 Gram. OZ Pro kmitočet 250Hz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3				
3				
10				
30				
100				

Tabulka 9 Gram. OZ Pro kmitočet 1kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3				
3				
10				
30				
100				

Tabulka 10 Gram DIS. pro kmitočet 1kHz

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	k_2 [%]	k_3 [%]	THD+N [%]
0,3				
3				
10				
30				
100				

Tabulka 11 Gram. DIS. pro kmitočtet 250Hz GRAM DIS

$U_1[mV]$	$U_2[mV_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,3				
3				
10				
30				
100				

Tabulka 12 LINE DIS. pro kmitočtet 1kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001				
0,05				
0,2				
2				
5				

Tabulka 13 LINE DIS pro kmitočtet 8kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001				
0,5				
0,2				
2				
5				

Tabulka 14 LINE OZ pro kmitočtet 1kHz

$U_1[V]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001				
0,5				
0,2				
2				
5				

Tabulka 15 LINE OZ pro kmitočtet 8kHz

$U_1[mV]$	$U_2[V_{rms}]$	$k_2 [\%]$	$k_3 [\%]$	THD+N [%]
0,001				
0,5				
0,2				
2				
5				

4. Změřte přeslechy mezi danými vstupy a kanály.

A. Nejdříve si změříme přeslech mezi levým a pravým kanálem, a to pro všechny vstupy. Připojte generátor pouze k jednomu z kanálů, například k pravému. Nastavte vstupní přepínač do polohy A a mezi svorky pro multimetr vložte propojku. Hlavní přepínače nastavte vždy na požadovaný vstup. U vstupu LINE nastavte vždy maximální zesílení. Přepínač zpětné vazby nastavte tak, aby směřoval k nápisu LINE, a vytočte ho na maximum. Měření proveďte pro pět různých kmitočtů.

Tabulka 16 Přeslech mezi kanály u vstupu LINE s OZ.

f[Hz] LINE.OZ	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	200					
500	200					
1k	200					
10K	200					
20k	200					

Tabulka 17 Přeslech mezi kanály u vstupu LINE s DIS

f [Hz] LINE.DIS	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	200					
500	200					
1k	200					
10k	200					
20k	200					

Tabulka 18 Přeslech mezi kanály u MIC vstupu.

f [Hz] MIC	$U_1[mV]$ P	$U_2[mVrms]$ P	$A_u[dB]$ P	$U_2[uVrms]$ L	$A_u[dB]$ L	Přeslech [dB]
200	3					
500	3					
1k	3					
10k	3					
20k	3					

B. V druhém bodě tohoto měření zjistíme přeslech mezi vstupy. Nastavení ponechte stejné jako v předchozím bodě, jen s tím rozdílem, že hlavní přepínače nastavujete podle tabulky

Tabulka 19 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a MIC

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ MIC	$A_u[dB]$ MIC	Přeslech [dB]
2ř0	200					
500	200					
1k	200					
10k	200					
20k	200					

Tabulka 20 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a Gram. s OZ

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMOZ	$A_u[dB]$ GRAMOZ	Přeslech [dB]
2ř0	200					
500	200					
1k	200					
10k	200					
20k	200					

Tabulka 21 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a Gram. s DIS..

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ GRAMDIS	$A_u[dB]$ GRAMDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200					
500	200					
1k	200					
10k	200					
20k	200					

Tabulka 22 Přeslech mezi vstupem LINE s OZ a LINE s DIS.

f [Hz]	$U_1[mV]$ LINE	$U_2[mVrms]$ LINE	$A_u[dB]$ LINE	$U_2[uVrms]$ LINEDIS	$A_u[dB]$ LINEDIS	Přeslech [dB]
2ř0	200					
500	200					
1k	200					
10k	200					
20k	200					

5. Změřte přebuditelnost vstupního zesilovače u vstupu LINE s OZ a s diskrétními prvky.

Připojte generátor k levému kanálu a přepněte příslušný přepínač na vstupu do polohy A. Hlavní přepínač nastavte do příslušných poloh, pro LINE tedy do polohy 2 a 2. Přepínač zpětné vazby přepněte do směru nápisu LINE a nastavte maximální zesílení. Poté nastavte na generátoru 200mV (jmenovité vstupní napětí) a zvyšujte vstupní napětí. Na osciloskopu sledujte výstupní průběh a zaznamenejte hodnotu vstupního napětí, kdy signál na výstupu začne být zkreslený. To znamená, že se zesilovač už nepohybuje v lineární části křivky. Měření opakujte pro vstup LINE s diskrétními prvky. U tohoto vstupu nastavte zesílení tak, aby při vstupním napětí 200mV byl výstupní signál 775mV. Dosažené hodnoty porovnejte. Přebuditelnost převeďte do decibelů pomocí vztahu

$$P = 20 \times \log \frac{U_{2lim}}{U_{2jmen}}$$

U_{2lim} = OZ....., DIS Napětí na výstupu, kdy dojde ke zkreslení signálu.

U_{2jmen} = OZ....., DIS..... Jmenovité výstupní napětí je takové, které vybudí jmenovité vstupní napětí 200mV.

$P_{LINE,OZ} = 19.88[\text{dB}]$

$P_{LINE,DIS} = 23[\text{dB}]$

POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE

GEN nízkofrekvenční funkční generátor Agilent 33220A

NMV nízkofrekvenční milivoltmetr Grundig MV100

OSC digitální osciloskop Agilent 54621A 60 MHz

NZ napájecí zdroj MCP M10-DP-305E (napájení přípravku $\pm 15\text{V}$)

měřený přípravek „Vstupní nf zesilovač“

vstupní cejchovaný proměnný odpor 100 k Ω

propojovací vodiče 4 x BNC-BNC

dělič -40dB (1:100)

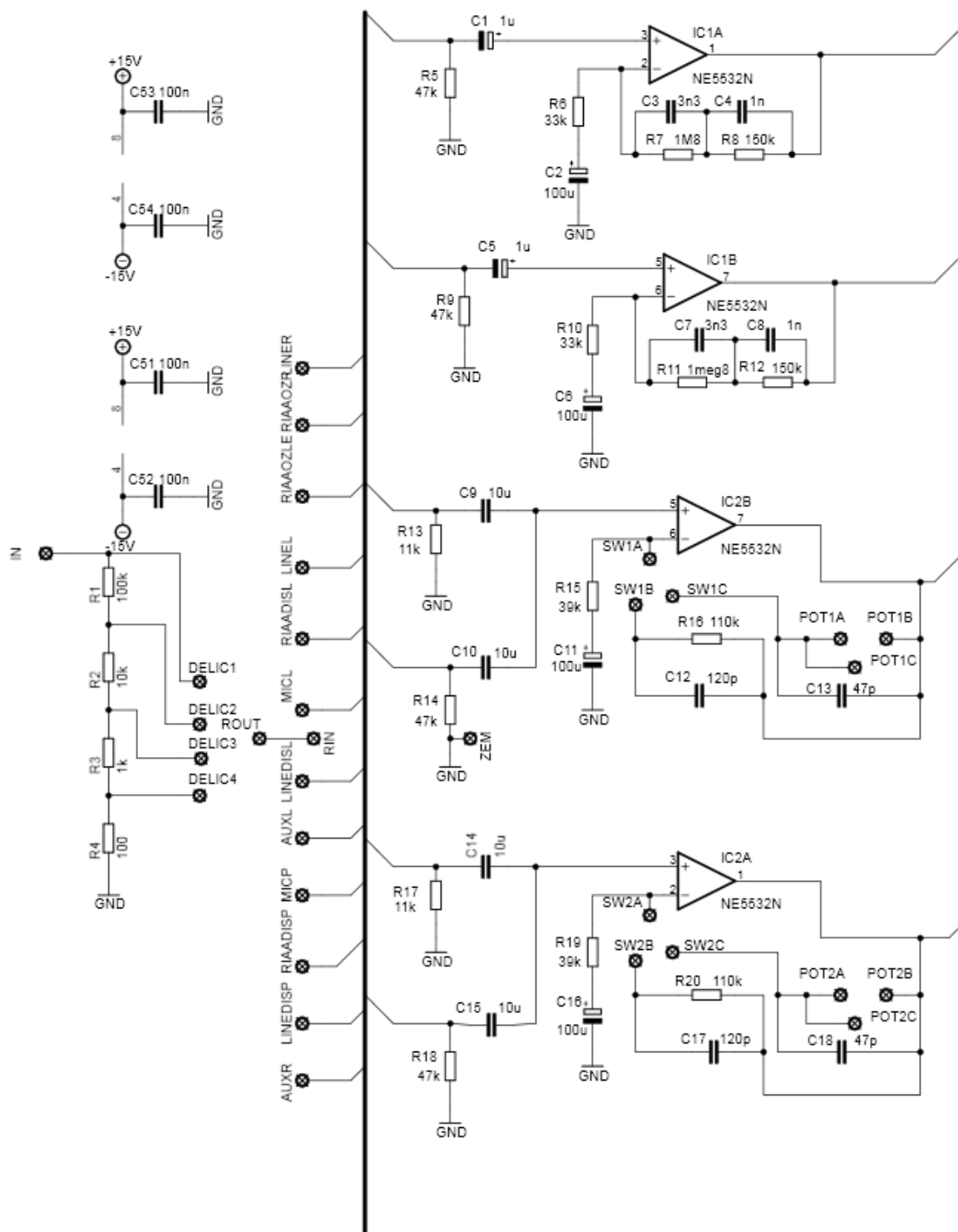
ZÁVĚR:

(Zde každý student čitelně doplní své individuální hodnocení výsledků měření a potvrdí jej

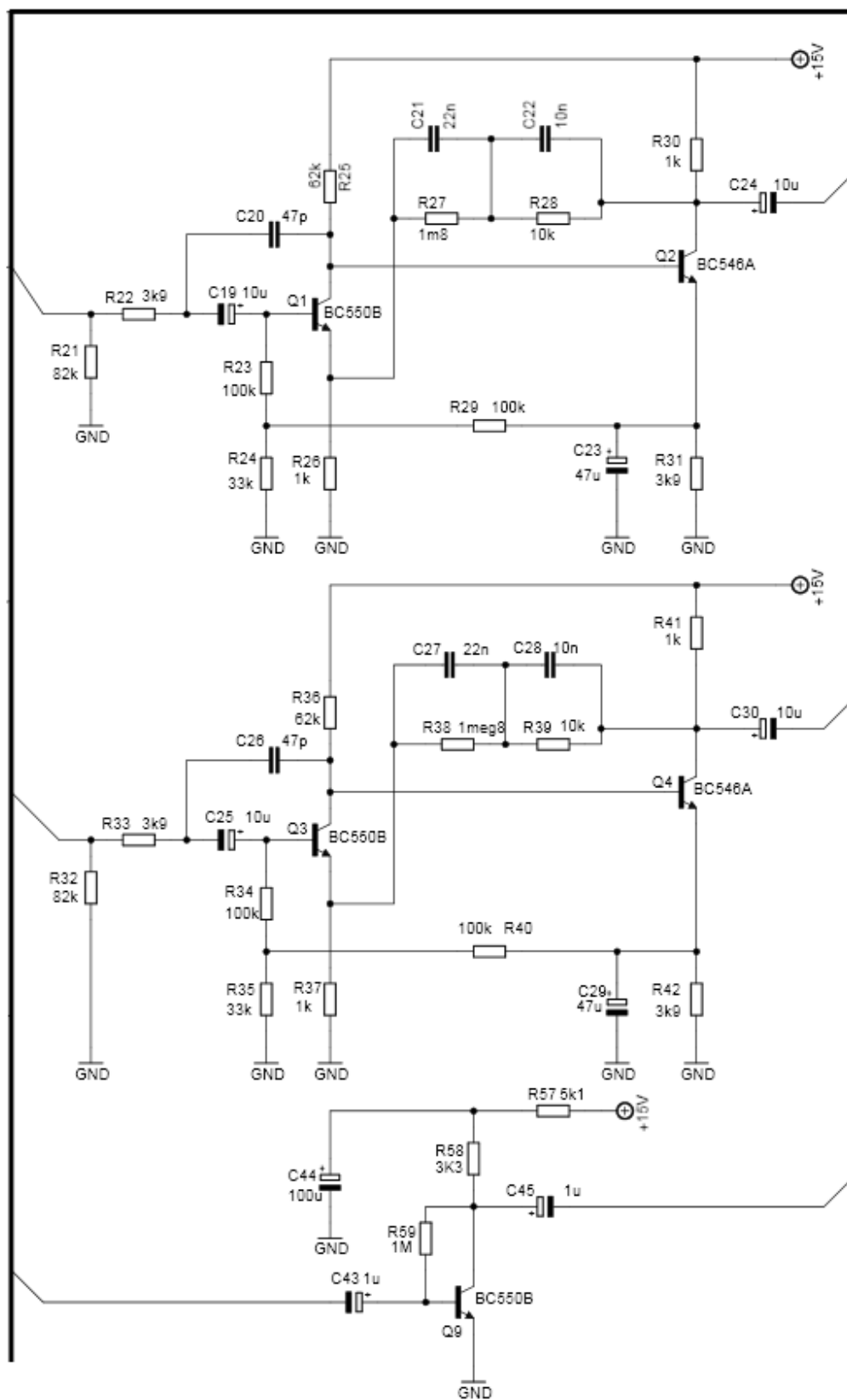
svým podpisem. Je třeba podrobně komentovat každý bod měření, každou měřenou charakteristiku nebo jednotlivý výsledek. Závěr by měl vždy přehledně shrnovat technické

parametry měřeného přípravku a jejich vyhodnocení.)

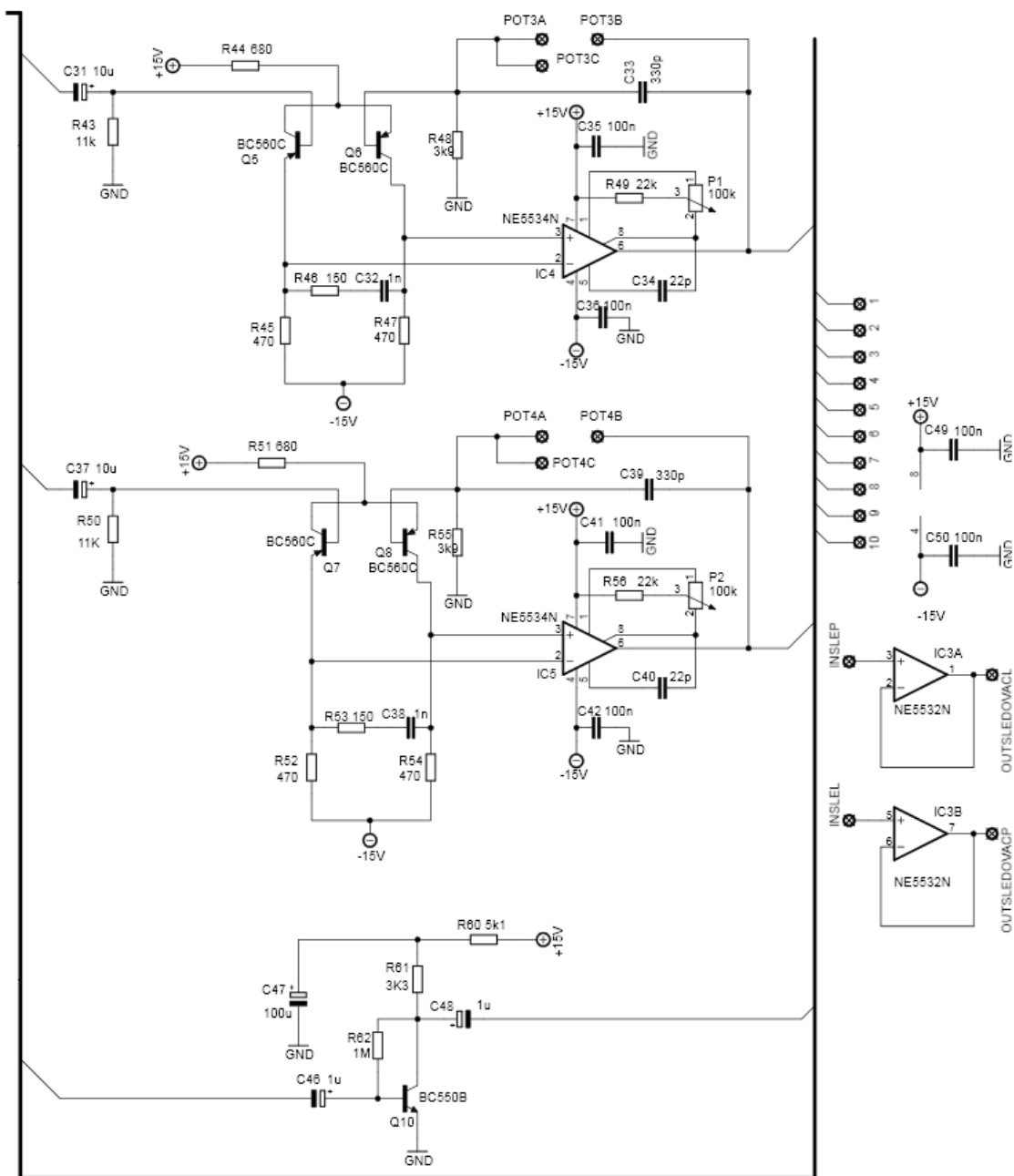
A.2 Schéma zapojení



Celkové schéma zapojení část 1



Celkové schéma zapojení část 2



Celkové schéma zapojení část 3

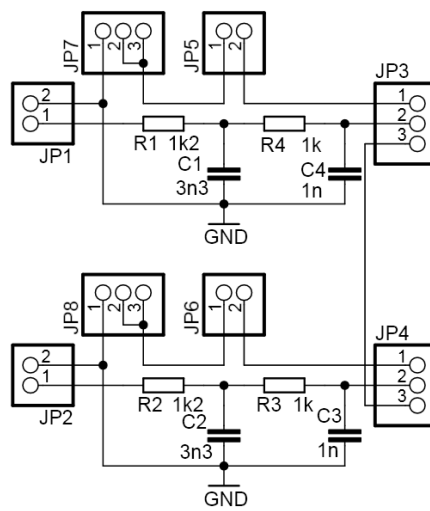


Schéma filtru 1

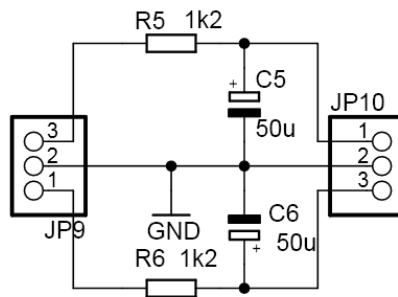
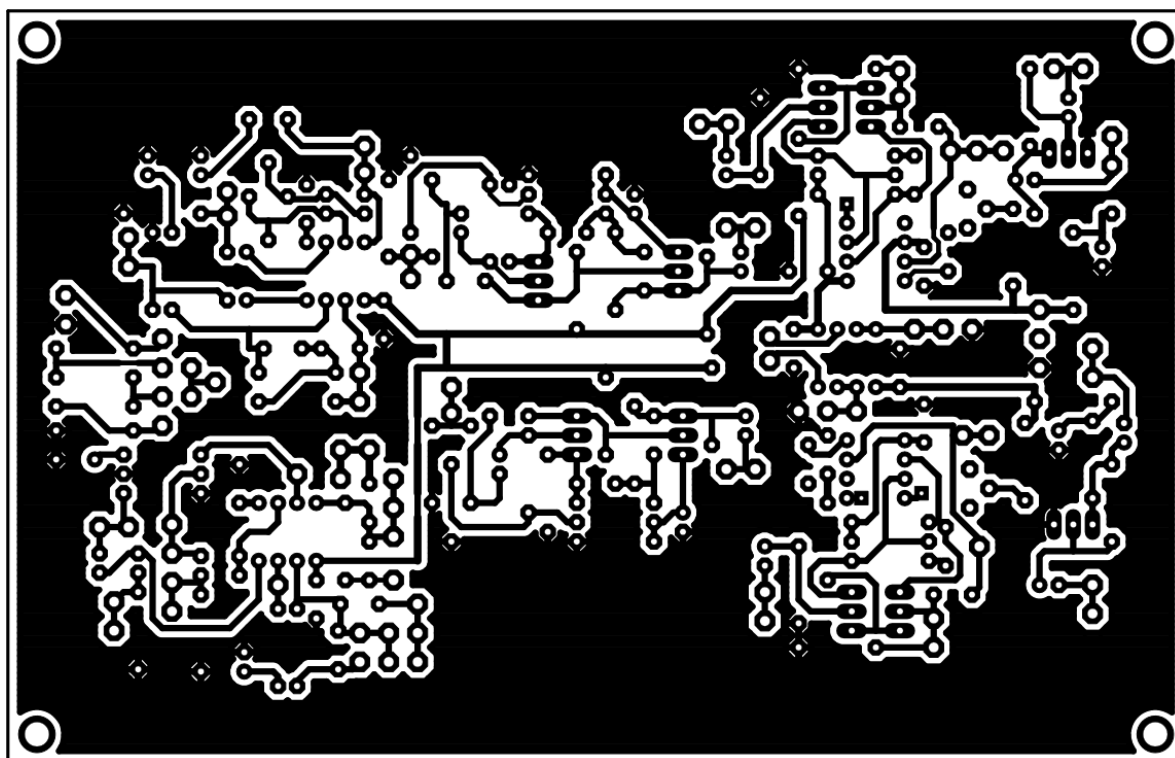
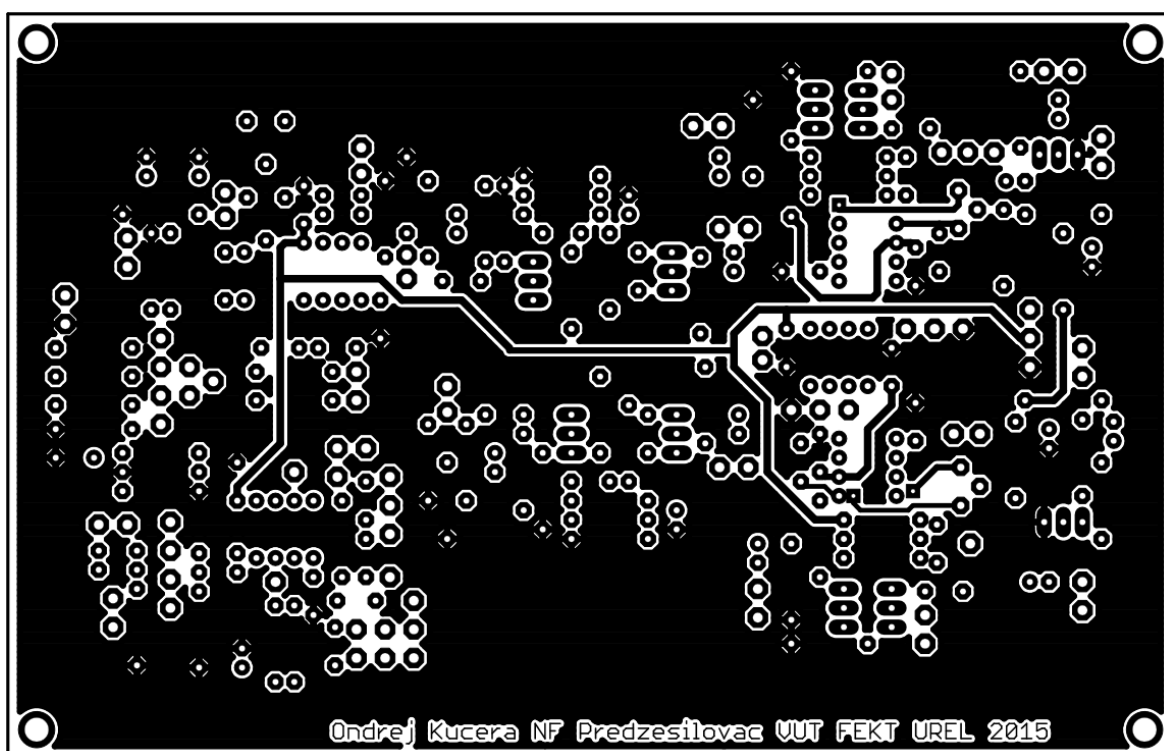


Schéma filtru 2

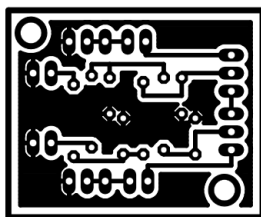
A.3 Desky plošných spojů



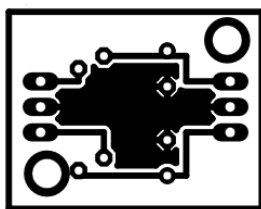
Hlavní deska plošného spoje ze strany bottom v měřítku 1:1 (156 x 99 mm)



Hlavní deska plošného spoje ze strany top v měřítku 1:1 (156 x 99 mm)

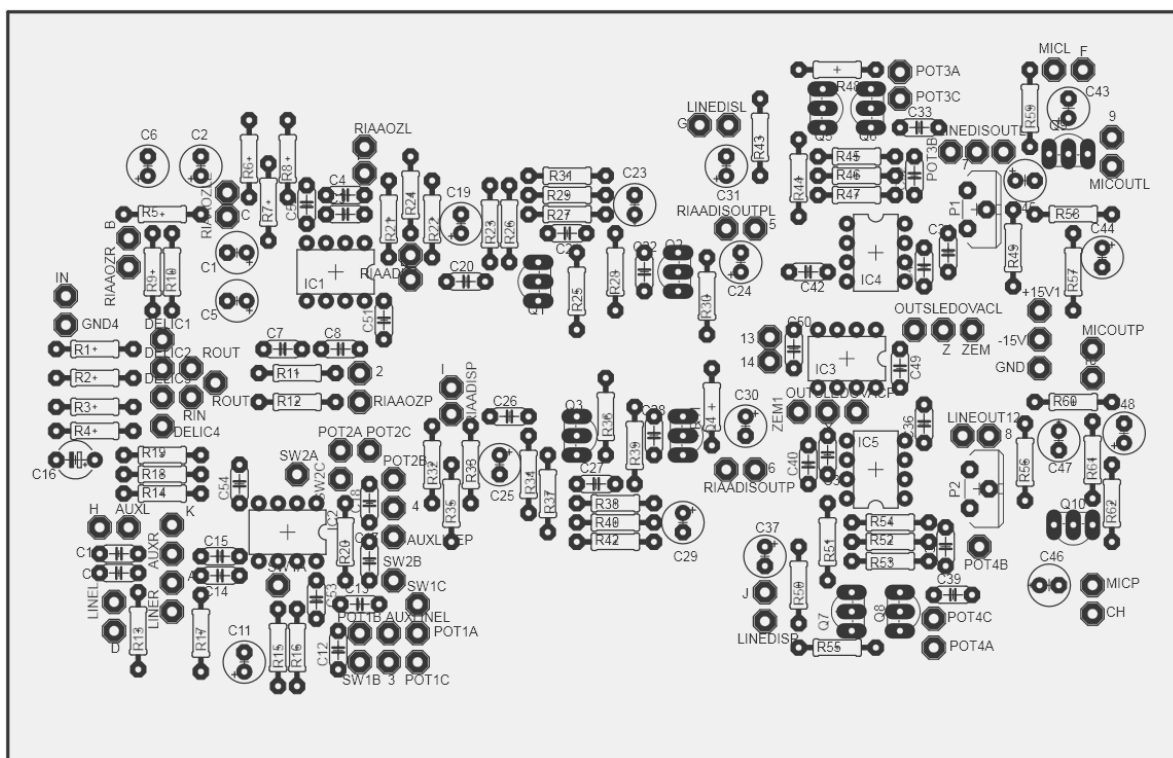


Deska plošného spoje filtru 1 v měřítku 1:1 (36 x 29 mm)

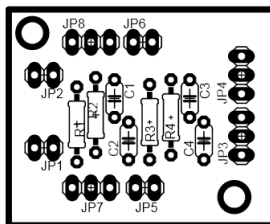


Deska plošného spoje filtru 2 v měřítku 1:2 (54 x 28 mm)

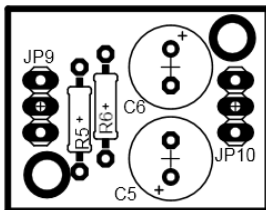
A.4 Osazovací plány součástek



Osazovací plán součástek hlavní desky v měřítku 1:1 (156 x 99 mm)



Osazovací plán desky filtru 1 v měřítku 1:1 (36 x29 mm)



Osazovací plán desky filtru 2 v měřítku 1:2 (24 x 24 mm)

A.5 Seznam součástek

Seznam součástek pro hlavní desku.

Odpory [Ω]

100	R4
10 k	R1, R23, R29, R34, R40
10k	R2, R28, R39
110k	R16, R20
11k	R50, R13, R17, R43
150	R46, R53
150k	R8, R12
1M	R59, R62
1M8	R7, R11, R38, R27,
1k	R3, R26, R30, R37, R41
22k	R49, R56
33k	R6, R10, R24, R35
39k	R15, R19
3k3	R58, R61
3k9	R22, R31, R33, R42, R48, R55
470	R45, R47, R52, R54
47k	R5, R9, R14, R18
5k1	R57, R60
62k	R25, R36
680	R44, R51
82k	R21, R32

Kondenzátory [F]

100n	C35, C36, C41, C42, C49, C50, C51, C52, C53, C5
100u	C47, C2, C6, C11, C44
10n	C22, C28
10u	C9, C10, C14, C15, C19, C24, C25, C30, C31, C37
120p	C12, C17
1n	C4, C8, C32, C38
1u	C46, C1, C5, C43, C45, C48
22n	C21, C27
22p	C34, C40
330p	C33, C39
3n3	C3, C7
47p	C13, C18, C20, C26
47u	C23, C29

Tabulka 26 Potenciometry [Ω]

100k	P1, P2
250k	
25k	

Tabulka 27 Konektory a přepínače

Typ	Počet
P-DS3	1x
P-DS2	2x
P-B068EP	2x
P-WT12	2x

Seznam součástek pro zbylé desky

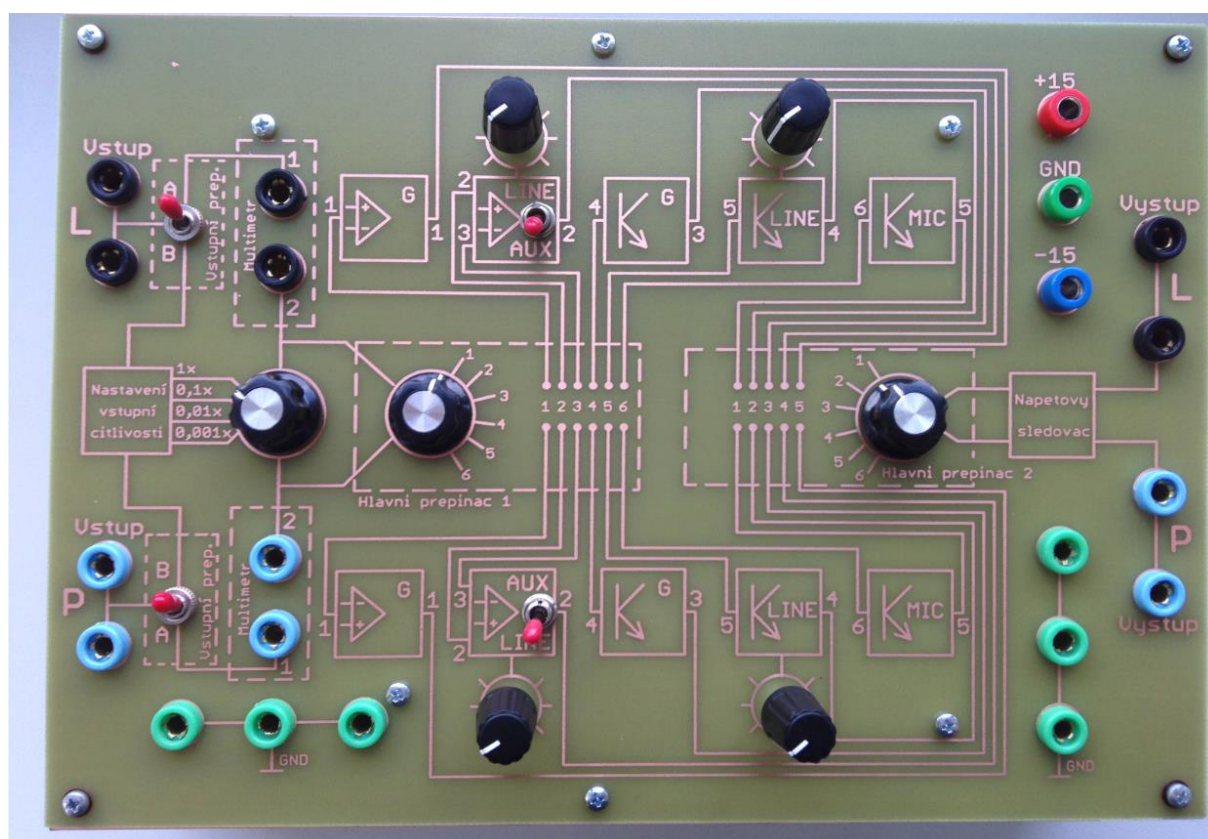
Odpory

1k2	R1, R2, R5, R6
1k	R3, R4

Kondenzátory

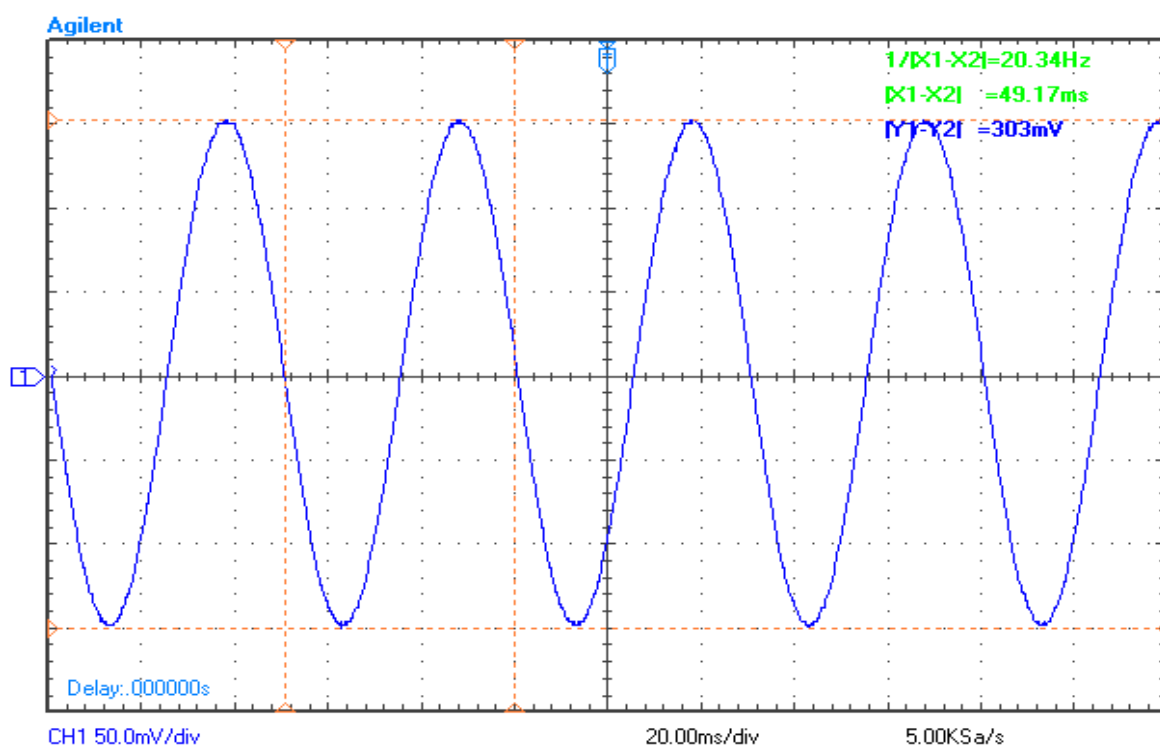
3n3	C1, C3
1n	C2, C4
50u	C5, C6

A.6 Foto přípravku

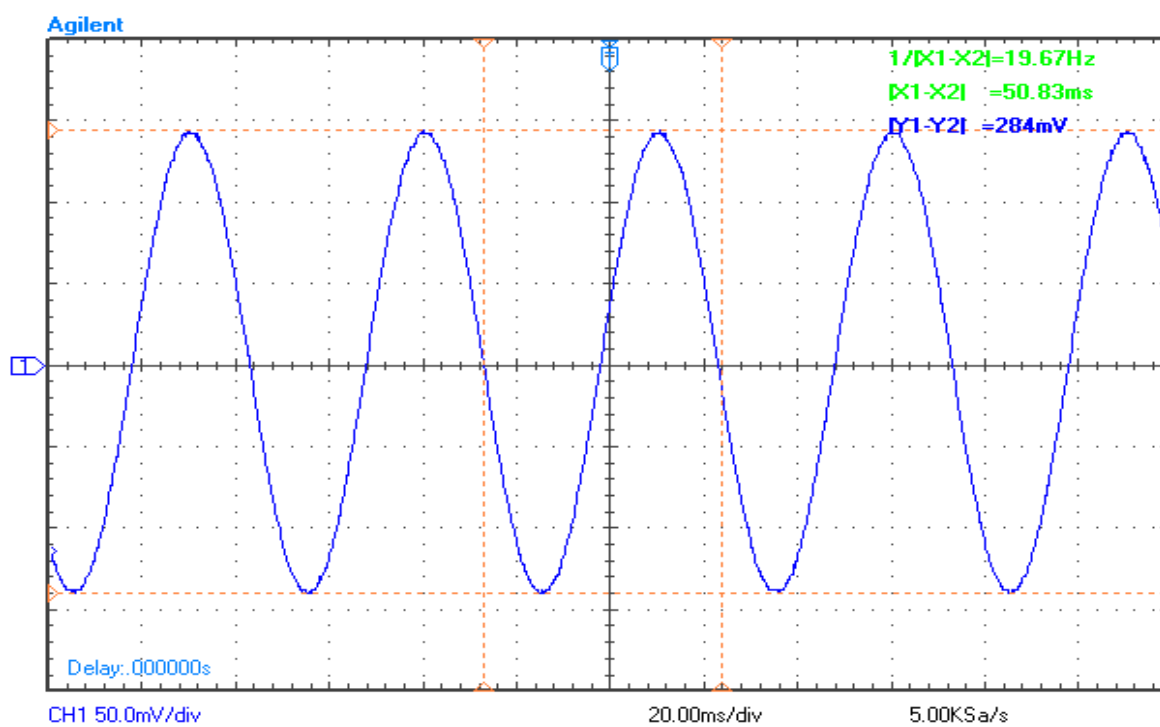


Fotka reálného přípravku zhora.

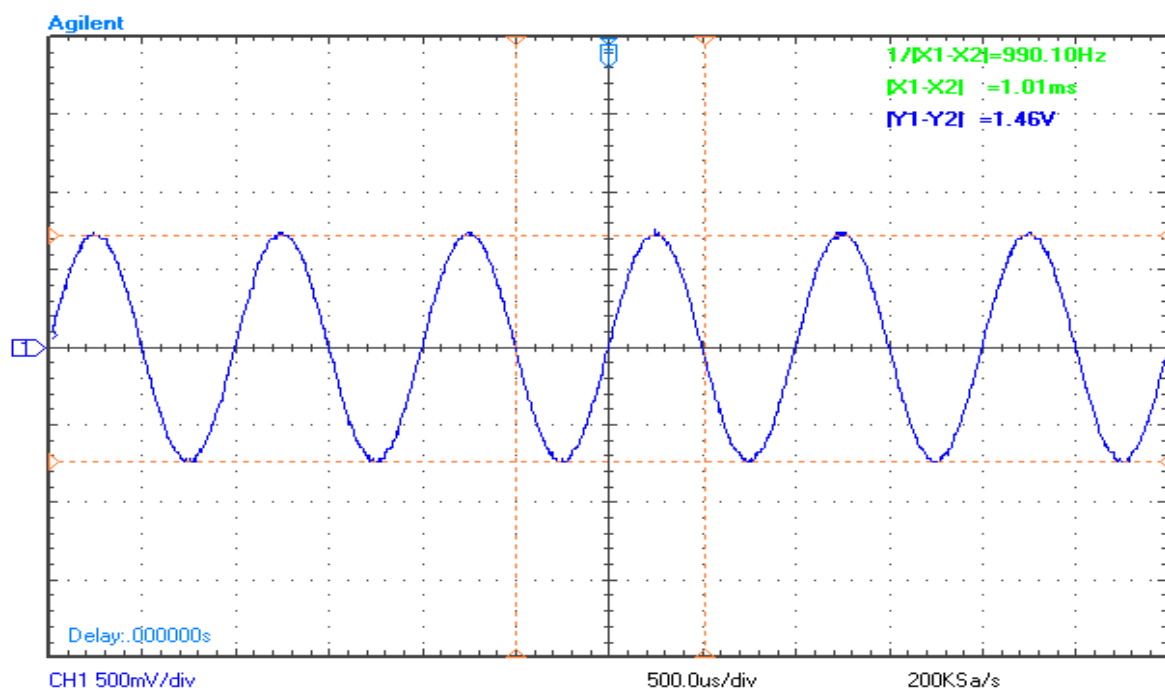
A.7 Průběhy z osciloskopu při ožiování zařízení



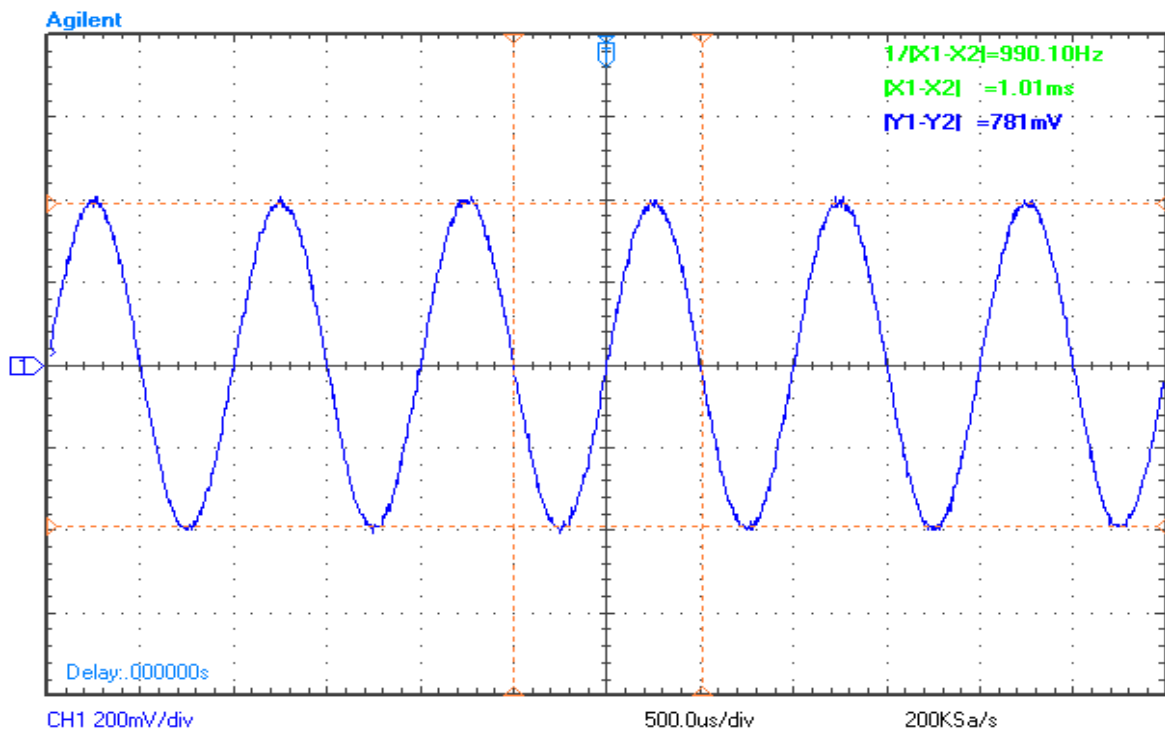
Výstupní průběh Gramofonového zesilovače s DIS. prvky.



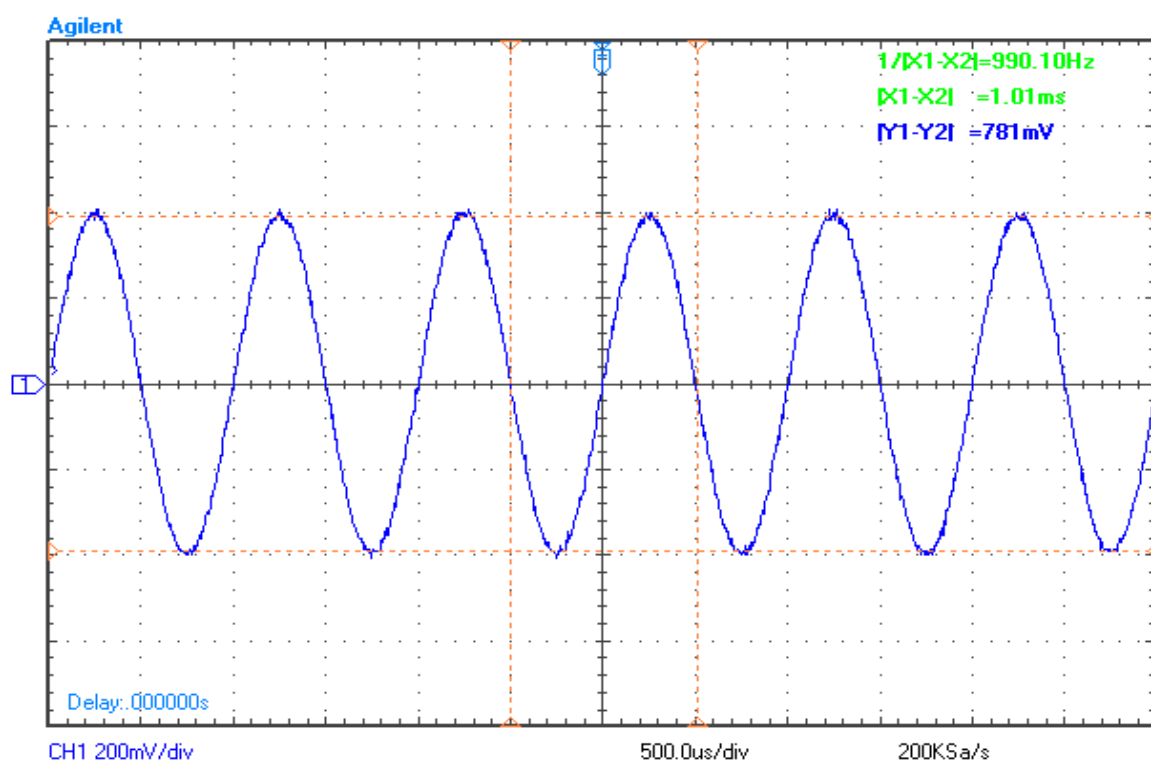
Výstupní průběh Gramofonového zesilovače s OZ.



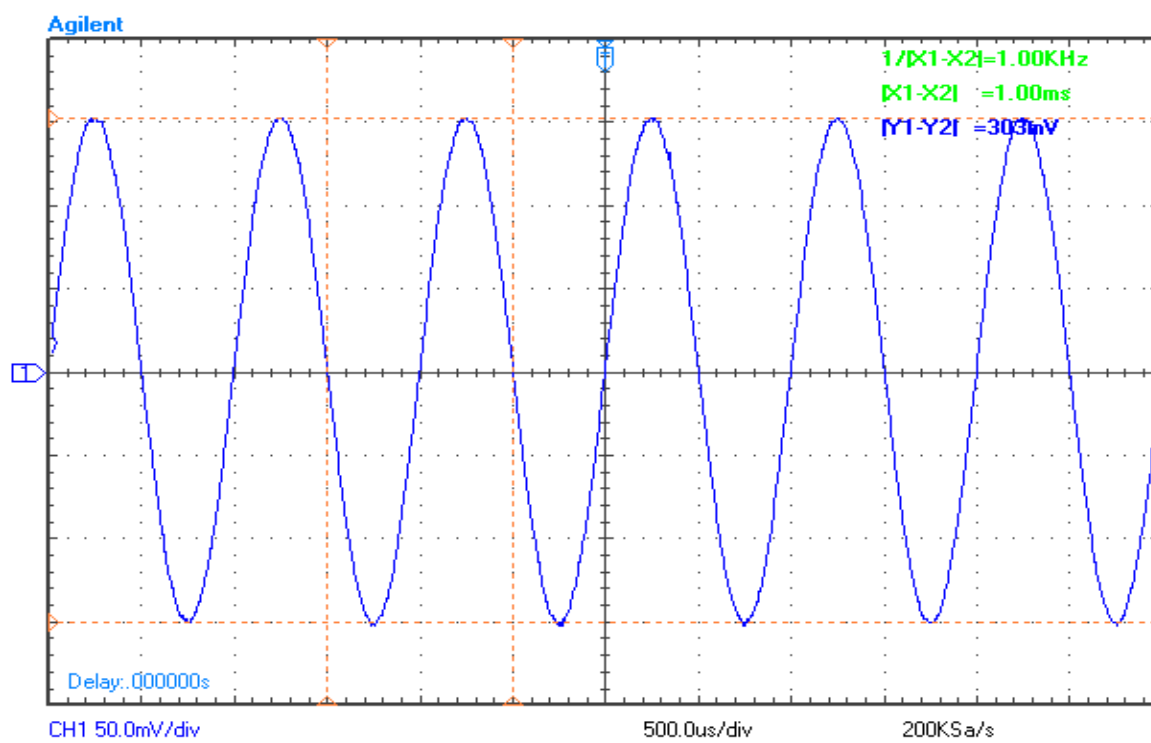
Výstupní průběh vstupu LINE s OZ.



Výstupní průběh vstupu LINE s DIS



Výstupní průběh vstupu AUX.



Výstupní průběh MIC vstupu.