

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2020

Adam Ďurka



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

### ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## VLIV IMPEDANCE VSTUPNÍCH A VÝSTUPNÍCH OBVODŮ A PROPOJOVACÍCH KABELŮ NA PŘENOS ZVUKOVÉHO SIGNÁLU

INFLUENCE OF IMPEDANCE OF INPUT AND OUTPUT CIRCUITS AND CONNECTING CABLES ON AUDIO  
SIGNAL TRANSMISSION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Ďurka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. David Kubánek, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**  
specializace Zvuková produkce a nahrávání  
Ústav telekomunikací

**Student:** Adam Ďurka

**ID:** 195800

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### Vliv impedance vstupních a výstupních obvodů a propojovacích kabelů na přenos zvukového signálu

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte parametry kabelů používaných k propojování studiové zvukové techniky a typické vstupní a výstupní impedance těchto zařízení. Provedte simulace lineárního zkreslení při přenosu zvukového signálu mezi výstupem jednoho zvukového zařízení a vstupem druhého pro kabely různé délky a s různými parametry a pro různé výstupní a vstupní impedance propojených zařízení. Poté navrhnete a realizujete obvody linkového zesilovače s přepínatelnou výstupní impedancí (typickou pro dynamický mikrofon, kondenzátorový mikrofon, kytarový snímač a linkový výstup) a přepínatelnou vstupní impedancí (typickou pro mikrofonní, linkový a vysokoimpedanční vstup). Dále navrhnete a realizujete obvody s pasivními součástkami, které budou napodobovat elektrické vlastnosti propojovacích kabelů a provedte měření celkového útlumu a lineárního zkreslení při přenosu zvukového signálu mezi realizovanými zesilovači pomocí těchto emulátorů kabelů.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SELF, Douglas. Small signal audio design. Burlington, MA: Focal Press, c2010. ISBN 0240521773.

[2] HÁJEK, Karel a Jiří SEDLÁČEK. Kmitočtové filtry. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-0-3-7.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. David Kubánek, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

#### 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**

Táto bakalárska práca sa zaoberá vplyvom parazitných vlastností audio káblov a tiež vstupných a výstupných impedancií rôznych zvukových zariadení na prenos signálu medzi nimi a rovnako aj jeho lineárne skreslenie. Pomocou náhradných schém zapojenia týchto zariadení sú vykonané simulácie prenosu a lineárneho skreslenia a následne sú navrhnuté a zrealizované laboratórne prípravky na meranie týchto parametrov. V ďalšej časti práce sú vykonané merania prenosu medzi prípravkami s použitím obvodového analyzátora Bode 100 a výsledné charakteristiky sú porovnané s nasimulovanými hodnotami.

## **Kľúčové slova**

filter, lineárne skreslenie, parazitná impedancia, prenos signálu, vstupná impedancia, výstupná impedancia

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with the influence of parasitic properties of audio cables as well as input and output impedances of various audio devices for signal transmission between them and also its linear distortion. Using alternative wiring diagrams of these devices, simulations of transmission and linear distortion are performed, and then laboratory jigs for measuring these parameters are designed and implemented. In the next part of the work, the measurements of the transfer between the jigs are performed using the Bode 100 circuit analyzer and the resulting characteristics are compared with the simulated values.

## **Keywords**

filter, linear distortion, parasitic impedance, signal transmission, input impedance, output impedance



## **Bibliografická citácia:**

ĎURKA, Adam. *Vliv impedance vstupních a výstupních obvodů a propojovacích kabelů na přenos zvukového signálu*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125860>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce David Kubánek.

## **Prehlásenie**

„Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Vliv impedance vstupních a výstupních obvodů a propojovacích kabelů na přenos zvukového signálu som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej semestrálnej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa: .....

.....  
podpis autora

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu práce Ing. Davidovi Kubánkovi, Ph.D. za pomoc a usmernenie pri vypracovávaní tejto bakalárskej práce a taktiež mojej rodine za podporu počas celého štúdia.

V Brne dňa: .....

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Úvod.....	12
2.	Teoretický rozbor .....	13
2.1	Parazitné vlastnosti káblov.....	14
2.1.1	Parazitná indukčnosť .....	14
2.1.2	Parazitná kapacita .....	15
2.1.3	Parazitný odpor .....	15
2.2	Frekvenčné filtre .....	16
2.3	Typy káblov v audiotechnike .....	17
2.3.1	Príklady reálnych parametrov .....	17
2.4	Vstupné a výstupné impedancie.....	18
2.4.1	Výstupné impedancie zdrojov zvuku.....	18
2.4.1.1	Dynamický mikrofón.....	18
2.4.1.2	Kondenzátorový mikrofón.....	19
2.4.1.3	Gitarový snímač.....	21
2.4.1.4	Linkový výstup .....	22
2.4.2	Vstupné impedancie zosilňovačov.....	22
3.	Simulácie prenosu .....	24
3.1	Dynamický mikrofón .....	25
3.2	Kondenzátorový mikrofón .....	27
3.3	Gitarový snímač .....	29
3.4	Linkový výstup.....	31
4.	Návrh a konštrukcia prípravkov na meranie vlastností prenosu .....	33
4.1	Prepojovací kábel so simulovanou dĺžkou.....	33
4.2	Linkový zosilňovač s nastaviteľnou vstupnou $Z$ .....	34
4.3	Zosilňovač s nastaviteľnou výstupnou $Z$ .....	36
4.4	Napájací zdroj .....	37
4.5	Simulácie zapojení prípravkov.....	39
4.6	Návrh DPS a montáž.....	41
5.	Výsledky merania pomocou prípravkov .....	43
6.	Záver .....	51

## Zoznam obrázkov

Obr. 2.1: Schéma prenosového reťazca .....	13
Obr. 2.2 Štruktúra koaxiálneho kábla [9].....	15
Obr. 2.3: Typy frekvenčných filtrov a ich schémy zapojenia.....	16
Obr. 2.4: Štruktúra dynamického mikrofónu [6] .....	19
Obr. 2.5: Náhradná schéma zapojenia mikrofónu Shure SM57 [3].....	19
Obr. 2.6: Štruktúra kondenzátorového mikrofónu [8] .....	20
Obr. 2.7: Schéma zapojenia výstupnej časti predzosilňovača kondenzátorového mikrofónu.....	20
Obr. 2.8: Náhradná schéma zapojenia gitarového snímača .....	21
Obr. 2.9: Schéma zapojenia linkového výstupu [1].....	22
Obr. 2.10: Diferenčný zosilňovač s OZ [1] .....	23
Obr. 2.11: Diferenčný zosilňovač s OZ s vysokou vstupnou impedanciou [1] .....	23
Obr. 3.1: Schéma simulácie dynamický mikrofón - mikrofónový vstup.....	25
Obr. 3.2: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel W2552 .....	26
Obr. 3.3: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 6300FH .....	26
Obr. 3.4: Schéma simulácie kondenzátorový mikrofón - mikrofónový vstup.....	27
Obr. 3.5: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel W2552 .....	28
Obr. 3.6: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 6300FH .....	28
Obr. 3.7: Schéma simulácie gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup .....	29
Obr. 3.8: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup, kábel 6300FH .....	30
Obr. 3.9: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup, kábel W2552 .....	30
Obr. 3.10: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - linkový vstup (10 k $\Omega$ ), kábel W2552.....	31

Obr. 3.11: Schéma simulácie linkový výstup - linkový vstup .....	31
Obr. 3.12: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup - linkový vstup, 6300FH .....	32
Obr. 3.13: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup - linkový vstup, W2552.....	32
Obr. 4.1: Schéma zapojenia simulátora dĺžky kábla.....	34
Obr. 4.2: Schéma zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou Z .....	35
Obr. 4.3: Schéma zosilňovača s nastaviteľnou výstupnou Z .....	37
Obr. 4.4: Schéma zapojenia napájacieho zdroja prípravku.....	38
Obr. 4.5: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup .....	39
Obr. 4.6: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup .....	40
Obr. 4.7 Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup.....	40
Obr. 4.8: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia linkový výstup – linkový vstup.....	40
Obr. 4.9: DPS prípravku káblového simulátora.....	41
Obr. 4.10: DPS prípravku zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou a výstupnou Z ....	42
Obr. 4.11: Bloková schéma pripojenia prepínača SYM/NESYM a konektorov do DPS .....	42
Obr. 5.1: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 1m .....	44
Obr. 5.2: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 5m .....	44
Obr. 5.3: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 50m .....	45
Obr. 5.4: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 1m .....	45
Obr. 5.5: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 5m .....	46

Obr. 5.6: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 50m .....	46
Obr. 5.7: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 1m .....	47
Obr. 5.8: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 5m .....	47
Obr. 5.9: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 50m .....	48
Obr. 5.10: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – linkový vstup, kábel 1m.....	48
Obr. 5.11: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 1m.....	49
Obr. 5.12: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 5m.....	49
Obr. 5.13: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 50m.....	50

## Zoznam symbolov a skratiek

### Skratky:

DPDT	.....	dual pole dual throw, typ prepínača
DPS	.....	doska plošných spojov
EPDM	.....	ethylene propylene diene monomer
HI-Z	.....	vysokoimpedančný vstup
NF	.....	nízkočfrekvenčný
NESYM	.....	nesymetrické vedenie
OZ	.....	operačný zosilňovač
PE	.....	polyetylén
PVC	.....	polyvinylchlorid
SYM	.....	symetrické vedenie
XLPE	.....	cross-linked polyethylene

### Symboly:

$f$	.....	frekvencia	[Hz]
$Z$	.....	impedancia	[ $\Omega$ ]
$R$	.....	odpor	[ $\Omega$ ]
$C$	.....	kapacita	[F]
$L$	.....	indukčnosť	[H]
$U$	.....	napätie	[V]
$A_U$	.....	napät'ový prenos	[dB]
$\mu_0$	.....	permeabilita vákua	[N·A <sup>-2</sup> ]
$\mu_r$	.....	relatívna permeabilita	[-]
$\epsilon_0$	.....	permitivita vákua	[F·m <sup>-1</sup> ]
$\epsilon_0$	.....	permitivita vákua	[-]
$l$	.....	dĺžka	[m]
$S$	.....	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$\rho$	.....	merný elektrický odpor	[ $\Omega$ .m]



# 1. ÚVOD

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou vplyvu parazitných vlastností signálových vodičov používaných v audiotechnike a tiež vstupných a výstupných impedancií rôznych zvukových zariadení na prenos signálu a jeho lineárne skreslenie vo frekvenčnej oblasti. Medzi hlavné nežiadúce vlastnosti káblov patrí najmä parazitná kapacita, ktorá v kombinácii s výstupným odporom zdroja zvukového signálu tvorí RC článok, ktorý funguje ako filter typu dolná priepusť a nepriaznivo ovplyvňuje prenos signálu vo vyšších frekvenciách. Taktiež je vždy potrebné brať do úvahy, čo je zdrojom signálu a akou impedanciou ho chceme zaťažiť pretože to môže znížiť úroveň signálu a z toho vyplývajúci dynamický rozsah.

V prvej časti sú rozobrané základné teoretické poznatky potrebné k vysvetleniu princípov ktoré budú použité v ďalších častiach práce. Kapitola uvádza do problematiky parazitných vlastností vodičov, popisuje druhy audio zariadení a ich základné vlastnosti, pričom je kladený dôraz na ich vstupnú, respektíve výstupnú impedanciu.

Druhá časť predstavuje jednu z dvoch hlavných častí práce – simulácie útlmu a lineárneho skreslenia signálu v závislosti od dĺžky a typu vodičov pri rôznych hodnotách vstupných a výstupných impedancií, ktoré predstavujú náhradu zapojenia skutočných zdrojov zvuku v obvode, a rôznych typov zariadení na spracovanie tohto signálu.

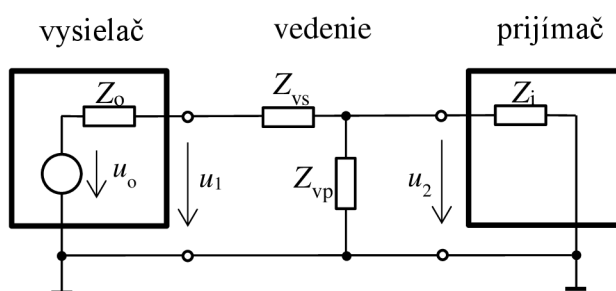
V tretej časti je popísaný návrh laboratórnych prípravkov, ktoré umožňujú vykonávať takéto merania experimentálne. Jedná sa o prípravky s linkovými zesilňovačmi s prepínateľnými vstupnými a výstupnými impedanciami simulujúcimi rôzne zvukové zariadenia a krátkeho prepojovacieho kábla, ktorý je pomocou pasívnych prvkov upravený tak, aby elektricky napodobňoval kábel s omnoho väčšou dĺžkou. Následne sú pomocou týchto prípravkov vykonané merania prenosu a lineárneho skreslenia a porovnané s nasimulovanými hodnotami.

Práca približuje javy, ktoré sa v praxi bežne uplatňujú a je potrebné s nimi počítať ako pri návrhu audio zariadení, tak aj napríklad pri nahrávaní nástrojov pomocou dlhých signálových káblov. Kládie si za cieľ prehľadne pomocou grafov ukázať rozdiely v parametroch zvuku pri použití rôzne dlhých vodičov v rozličných kombináciách zapojení, ktoré sa môžu pri nahrávaní alebo meraní vyskytnúť. Taktiež predkladá návrh prípravkov umožňujúcich tieto simulácie overiť v praxi.

## 2. TEORETICKÝ ROZBOR

Kapitola popisuje základné teoretické princípy, ktoré sa uplatňujú pri prenose zvukového signálu medzi jeho zdrojom a zariadením, ktoré ho ďalej spracováva. Keďže sa práca zaoberá najmä analýzou lineárneho skreslenia signálu spôsobeného prechodom cez lineárne pasívne prvky, pre zjednodušenie budeme uvažovať len niektoré parametre spojené s prenosom signálu.

Pri riešení obvodov so striedavým signálom musíme brať do úvahy, že sa skladajú z niekoľkých častí. Základom prenosového reťazca je vysielateľ, vedenie a prijímač signálu. Zjednodušenú schému popisuje obrázok 2.1.



**Obr. 2.1: Schéma prenosového reťazca**

Vysielač si môžeme predstaviť ako sériovú kombináciu zdroja výstupného napätia  $u_o$  a jeho výstupnej impedancie  $Z_o$ , ktorá je závislá od typu zdroja signálu a môže mať komplexný charakter.  $Z_{vs}$  predstavuje sériovú impedanciu vedenia, zahŕňa parazitný odpor a indukčnosť vodičov. Paralelnú impedanciu vedenia tvorí  $Z_{vp}$ , jedná sa hlavne o kapacitu vedenia voči zemi. Prijímač je charakteristický vstupnou impedanciou  $Z_i$ , ktorá, tak isto ako vo vysielateľ, závisí od typu použitého zariadenia. Zjednodušením zapojenia získavame vzťah pre odporový delič:

$$U_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot U_1 = \frac{Z_i \parallel Z_{vp}}{(Z_o + Z_{vs}) + Z_i \parallel Z_{vp}} \cdot U_o \quad (\text{V}). \quad (2.1)$$

Prenos tohto zapojenia je potom daný vzťahom

$$A_U = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} \quad (\text{dB}) \quad (2.2)$$

kde  $U_1$  je napätie na vstupe a  $U_2$  je napätie na výstupe vedenia.

## 2.1 Parazitné vlastnosti káblov

V audiotechnike sa na prepojenie techniky využívajú špeciálne káble s vlastnosťami potrebnými pre bezproblémový prenos zvukového signálu. Analógový signál s bežným frekvenčným rozsahom 20 Hz až 20 kHz nie je náchylný k problémom, ktorými trpia vysokofrekvenčné dátové linky, ako napríklad potreba dodržania charakteristickej impedancie vodičov, aby nedochádzalo k odrazom signálu. Čo je však veľmi dôležité v audio oblasti, je potreba tienenia týchto káblov kvôli eliminácii rušenia spôsobeného najmä elektromagnetickými poľami v ich blízkosti, vytváranými rozličnými elektronickými prístrojmi. Toto tienenie taktiež zabraňuje prenikaniu signálu z jedného vodiča do vodiča druhého, vedúceho súbežne s prvým, takzvanému presluchu. Použitím symetrického vedenia je možné ďalej odstrániť rušenie vzniknuté indukčnou väzbou z vonkajšieho prostredia a tiež zemné slučky [3]. Nasledujúce podkapitoly sa zaoberajú podrobnejšie jednotlivými typmi parazitných vlastností.

### 2.1.1 Parazitná indukčnosť

Každý vodič pri prechode prúdu vytvára okolo seba magnetické pole, ktoré bez patričnej ochrany môže ovplyvňovať okolité zariadenia. Rovnakým spôsobom sa môže z okolia do vodiča indukovať rušivé napätie, napríklad súbežným vedením napájacích a signálových vodičov. Tomuto javu sa dá vyhnúť použitím symetrického vedenia. Princíp symetrického vedenia signálu spočíva v použití troch vodičov tzv. HOT, COLD a uzemneného tienenia GND. Zdroj zvukového signálu musí disponovať symetrickým výstupom a zabezpečovať správne budenie vedenia. Na vodičoch HOT aj COLD sa nachádza rovnaké napätie proti zemi, vo vodiči COLD má však opačnú polaritu. Vstupné obvody zariadenia spracovávajúceho signál následne napätia na týchto vodičoch odčítajú, čím dôjde k eliminácii súhlasného rušenia. Použitím symetrického vedenia pri normálnej prevádzke nepreteká tienením žiaden prúd (okrem neúčinného rušivého signálu), preto sa jeho indukčnosť neuplatní.

Parazitná indukčnosť káblov má však pomerne malú hodnotu, typicky rádovo v jednotkách  $\mu\text{H}$  na meter dĺžky. Z tohto dôvodu je vplyv na prenos minimálny. Najčastejšie využívané koaxiálne káble majú parazitnú indukčnosť vyjadrenú vzťahom:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot l}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (\text{H}) \quad (2.3)$$

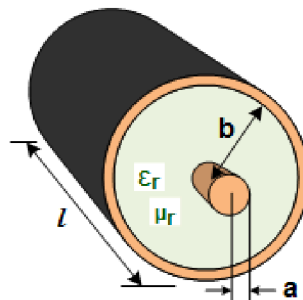
kde  $\mu_0$  je permeabilita vákua,  $\mu_r$  je relatívna permeabilita,  $l$  je dĺžka vodiča,  $a$  zodpovedá polomeru stredového vodiča a  $b$  vzdialenosti vnútornej strany tienenia od stredu vodiča [9].

## 2.1.2 Parazitná kapacita

Vodiče v reálnom prostredí vykazujú určitú kapacitu ako voči zemi, tak medzi sebou navzájom. Existuje niekoľko typov vodičov signálu používaných na prepojenie techniky, pričom každý z nich má odlišné vlastnosti. Najčastejšie sa v praxi môžeme stretnúť s koaxiálnymi káblami, kde signálový vodič je obalený vodivým opletením alebo fóliou, ktoré, ak sú uzemnené, slúžia ako tienenie elektrického poľa. Medzi týmito vodičmi je vrstva izolantu. Takéto usporiadanie vytvára medzi vodičmi nežiaducu kapacitu danú vzťahom:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (\text{F}) \quad (2.4)$$

kde  $\epsilon_0$  je permitivita vákua,  $\epsilon_r$  je relatívna permitivita materiálu, z ktorého je vyrobená izolácia medzi vodičmi,  $a$  zodpovedá polomeru stredového vodiča a  $b$  vzdialenosti vnútornej strany tienenia od stredu vodiča [9]. Obrázok 2.2 popisuje štruktúru koaxiálneho kábla.



Obr. 2.2 Štruktúra koaxiálneho kábla [9]

## 2.1.3 Parazitný odpor

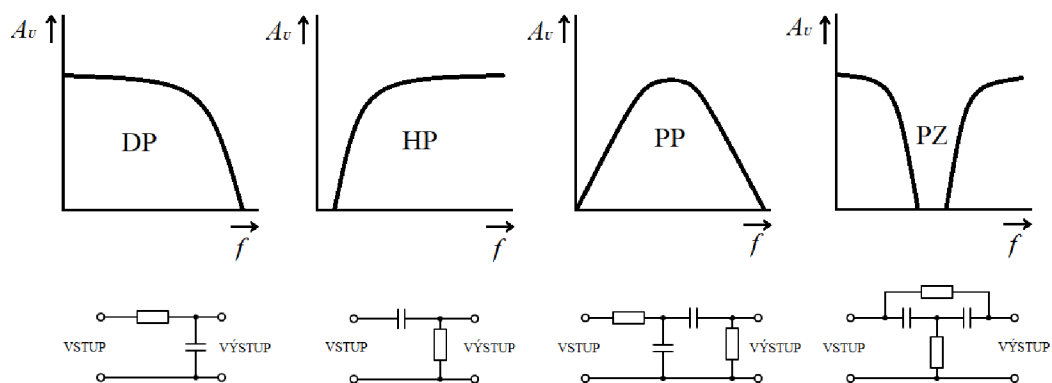
Ideálny vodič má nekonečnú vodivosť a teda nulový odpor. Reálne vlastnosti sa však od ideálnych vo väčšej či menšej miere odlišujú. Bežne používané vodiče sú vyrábané z medi, ktorá má pomerne nízky merný elektrický odpor  $\rho$ , len  $1,72 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ . [1] Vyššiu vodivosť ako meď dosahuje už len striebro, no to sa na výrobu prepojovacích káblov takmer nepoužíva kvôli vysokej cene. Vzácné kovy sa však často využívajú na pokovovanie konektorov tenkou vrstvou, najčastejšie sa na tento účel využíva zlato. Táto úprava má za následok zníženie prechodového odporu v dôsledku dobrej chemickej odolnosti zlata. Odpor vodičov závisí okrem materiálu najmä od ich prierezu  $S$  a dĺžky  $l$  podľa vzťahu:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (\Omega) \quad (2.5)$$

## 2.2 Frekvenčné filtre

Pod pojmom filter si v elektrotechnike môžeme predstaviť dvojbran, ktorého prenos je frekvenčne závislý. Filtre môžeme rozdeliť na pasívne a aktívne, podľa typu súčiastok, z ktorých sú tvorené. Pasívne filtre využívajú pasívne súčiastky, ako rezistory, kondenzátory a cievky, kdežto v aktívnych sú využité operačné zosilňovače s pasívnymi súčiastkami v spätných väzbách. Výhodou aktívnych filtrov je možnosť získať prenos väčší ako 1, nie je potrebné využívať cievky a majú tiež veľkú vstupnú a malú výstupnú impedanciu [2].

Najdôležitejšími parametrami filtra sú jeho medzná frekvencia, na ktorej klesá jeho napäťový prenos  $A_U$  o 3 dB, jeho rád, ktorý určuje strmosť poklesu a tiež jeho typ. Základné typy filtrov podľa pásma, ktoré prepúšťajú môžeme rozdeliť na dolnú priepusť, hornú priepusť, pásmovú priepusť a pásmovú zádrž. Na obrázku 2.3 sú znázornené závislosti prenosu na frekvencii jednotlivých typov filtrov a tiež ich možné schémy zapojenia.



Obr. 2.3: Typy frekvenčných filtrov a ich schémy zapojenia

## 2.3 Typy káblov v audiotechnike

V audiotechnike sa na prepojovanie prístrojov používa niekoľko typov káblov prenášajúcich zvukový signál. Ak chceme zostaviť prenosový reťazec, potrebujeme zdroj zvuku, zariadenie, ktoré premení zvukové vlny na elektrický signál, ďalej zariadenie, ktoré tento signál spracuje a taktiež vodiče na prepojenie týchto prvkov. Existuje niekoľko druhov káblov, no najčastejšie sa pre ich výhody používajú koaxiálne tienené vodiče. Tie môžu byť v prevedení symetrickom alebo nesymetrickom, teda 1 alebo 2 vodiče so spoločným tienením.

### 2.3.1 Príklady reálnych parametrov

V tejto podkapitole sú zobrazené príklady reálnych parametrov niekoľkých vybraných typov káblov používaných vo zvukovej praxi. Vlastnosti boli získané z katalógových listov niekoľkých výrobcov, prevažne zo stránky veľkoobchodu TME a tiež firmy Mogami a Belden. Keďže hodnoty parazitnej kapacity a odporu sú často veľmi podobné a odlišujú sa len ráde desiatok pF na meter, respektíve mΩ na meter, boli vybrané len niektoré typy káblov s najväčším rozdielom týchto parametrov. Často tiež v katalógoch neboli uvedené niektoré údaje, najmä indukčnosť, niekedy ani kapacita.

Tabuľka 2.1 zobrazuje porovnanie jednotlivých vodičov a ich parametrov. Uvedená kapacita je medzi vodičom a tienením, v prípade symetrických káblov s dvoma vodičmi a jedným tienením je ešte v zátvorke uvedená aj kapacita medzi týmito vodičmi. V poznámke je uvedený materiál izolácie medzi vodičom signálu a tienením a tiež, či sa jedná o symetrický alebo nesymetrický kábel.

Tab. 2.1: Porovnanie parametrov vodičov

Typ	Odpor vodiča (mΩ.m <sup>-1</sup> )	Odpor tienenia (mΩ.m <sup>-1</sup> )	Kapacita (pF.m <sup>-1</sup> )	Indukčnosť (μH.m <sup>-1</sup> )	Poznámka
Alpha Wire 1703-SL005	95	24	118	0,23	NESYM, PE
Belden 1776	38	20	190 (108)	-	SYM, EPDM
Belden 6300FH	21	52	413 (230)	0,50	SYM, PVC
Mogami W2552	140	24	90 (10)	0,8	SYM, XLPE
Mogami W2319	64	26	155	0,3	NESYM, PE
Tasker C121	75	-	96 (36)	-	SYM, PE

## 2.4 Vstupné a výstupné impedancie

Charakteristickou vlastnosťou zariadení spracovávajúcich zvukový signál je okrem iného aj impedancia, ktorá má vplyv na prenos a môže ovplyvniť kvalitu tohto signálu. Komplexný charakter impedancie ovplyvňuje prenos v rôznych frekvenčných pásmach, keďže v kombinácii s ďalšími časťami obvodu môže vytvárať nežiadúce frekvenčné filtre. Odporová zložka impedancie má okrem toho vplyv na útlm signálu, v obvodoch vznikajú odporové deliče znižujúce veľkosť signálu a tiež prispievajú k zvyšovaniu šumu.

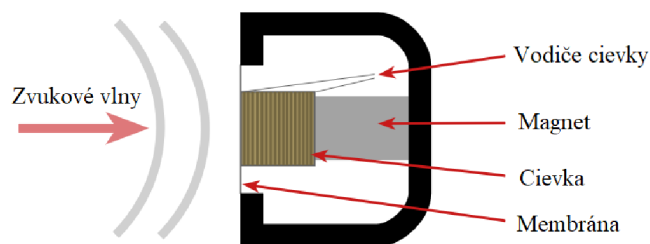
### 2.4.1 Výstupné impedancie zdrojov zvuku

Všetky zdroje NF signálu, či už sa jedná o rôzne druhy mikrofónov, snímače elektrických gitár alebo linkové výstupy elektronických hudobných nástrojov či prehrávačov obsahujúcich operačné zosilňovače majú svoju charakteristickú výstupnú impedanciu. Tá je zvyčajne odporového charakteru, ale v niektorých prípadoch sa nezanedbateľne uplatňuje aj induktívna či kapacitná zložka, ktorá má vplyv na frekvenčnú charakteristiku. V nasledujúcej časti kapitoly sú popísané základné princípy funkcie jednotlivých typov zdrojov zvuku:

- dynamické mikrofóny
- kondenzátorové mikrofóny
- gitarové snímače
- linkové výstupy

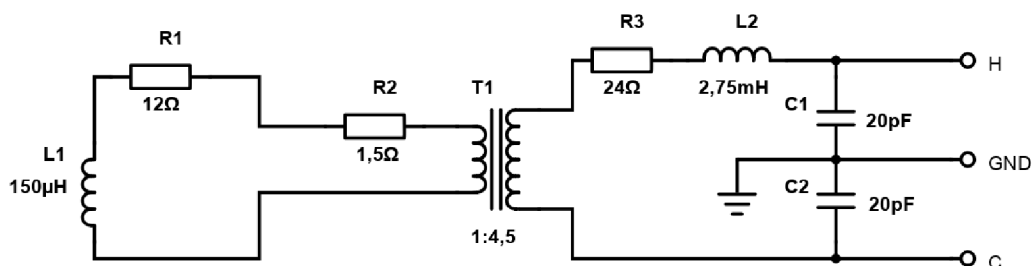
#### 2.4.1.1 Dynamický mikrofón

Dynamické mikrofóny vytvárajú signál prostredníctvom membrány pripojenej k cievke kmitajúcej spolu s ňou v magnetickom poli. Ich impedancia je preto daná predovšetkým vlastnosťami tejto cievky. Väčšina profesionálnych dynamických mikrofónov má tiež na výstupe transformátor kvôli zvýšeniu výstupnej impedancie a zvýšeniu citlivosti. Typická hodnota pri nízkoimpedančných mikrofónoch je v rozsahu od 150 do 300  $\Omega$ . Prevažuje pritom induktívna zložka, pretože sekundárne vinutie výstupného transformátora má pomerne malý odpor, rádovo v desiatkach  $\Omega$ . Menej kvalitné mikrofóny majú cievku pripojenú na výstup priamo, ich výstupná impedancia je preto vyššia, približne 600  $\Omega$  a viac. Na obrázku 2.4 je znázornená konštrukcia kapsule dynamického mikrofónu.



**Obr. 2.4: Štruktúra dynamického mikrofónu [6]**

Obrázok 2.5 predstavuje schému zapojenia mikrofónu Shure SM57 podľa literatúry [3], ktorá bude použitá ako príklad pre využitie v simulácii. L1 spolu s R1 modelujú vlastnosti cievky meniča, R1 pritom nahrádza sériový odpor tejto cievky. Signál z nej ďalej postupuje do transformátora so zvyšujúcim pomerom 1:4,5, ktorý má za úlohu zvýšiť výstupnú napäťovú úroveň a tiež zvyšuje výstupnú impedanciu. L2 a R3 predstavujú vlastnosti sekundárneho vinutia tohto transformátora, C1 a C2 parazitnú kapacitu súčiastok a konektora.

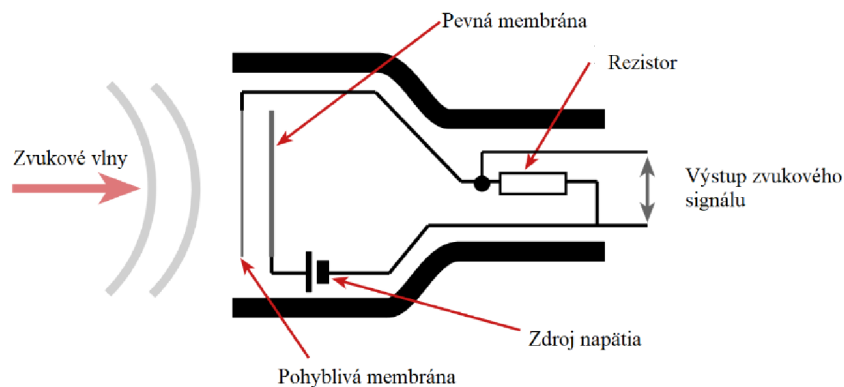


**Obr. 2.5: Náhradná schéma zapojenia mikrofónu Shure SM57 [3]**

### 2.4.1.2 Kondenzátorový mikrofón

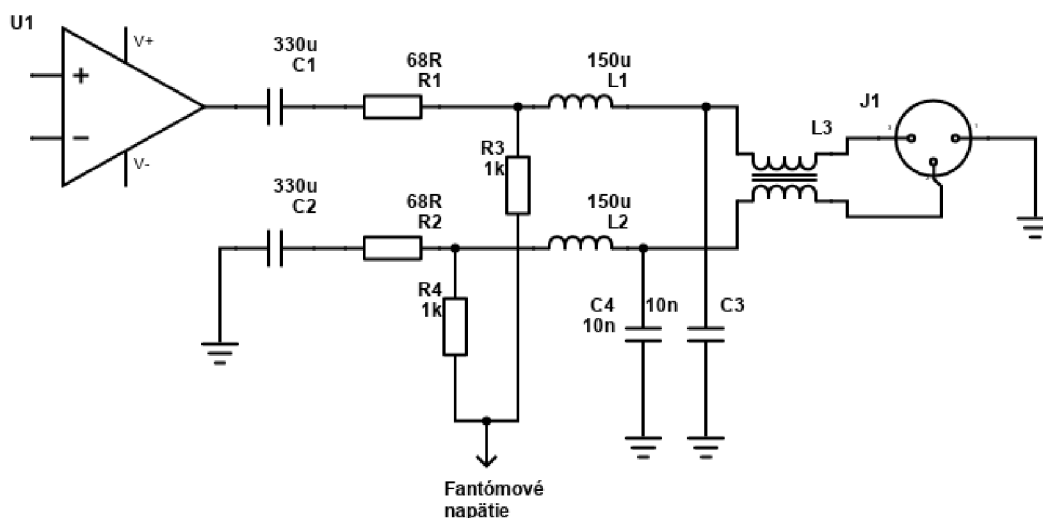
Kondenzátorové mikrofóny sú z konštrukčného hľadiska zložitejšie. Princípom funkcie je využitie vlastností kondenzátora. Dve vodivé membrány sú napájané jednosmerným napätím, pričom jedna je pevná a druhá kmitá v dôsledku nárazov zvukových vln. Tým dochádza k zmene vzdialenosti medzi membránami a zároveň k zmene kapacity. Privedením napätia na membrány pomocou fantómového napájania dochádza vplyvom zmeny kapacity k zmenám výstupného napätia.





**Obr. 2.6: Štruktúra kondenzátorového mikrofónu [8]**

Výstupná impedancia kondenzátorového mikrofónu je daná vlastnosťami zabudovaného predzosilňovača. Ten je potrebný z dôvodu vysokej výstupnej impedancie samotného meniča a je taktiež napájaný z fantómového napätia. Vo väčšine prípadov sa jedná o zapojenie s operačným zosilňovačom alebo elektrónkou s výstupným transformátorom. Výstupná impedancia sa preto zníži na hodnotu desiatok až stoviek  $\Omega$ , typicky 50 až 200  $\Omega$ . Zapojenie na obrázku predstavuje možnú podobu zjednodušenej výstupnej časti predzosilňovača za OZ, podľa literatúry [1].



**Obr. 2.7: Schéma zapojenia výstupnej časti predzosilňovača kondenzátorového mikrofónu**

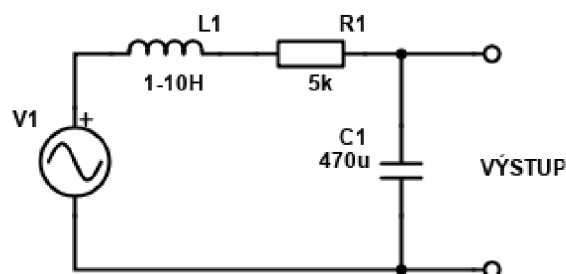
Cievky L1, L2 a L3 spolu s kondenzátormi C3 a C4 tvoria filter typu dolná priepusť a slúžia na potlačenie vysokofrekvenčného rušenia. Rezistory R3 a R4 odvádzajú fantómové napájanie k ďalším obvodom. Rezistory R1 a R2 chránia OZ pred zákrmitmi na vyšších frekvenciách pri budení kapacitnej záťaže (dlhý prepojovací kábel). Kondenzátory C1 a C2 oddeľujú jednosmernú zložku signálu.

### 2.4.1.3 Gitarový snímač

Gitarových snímačov existuje množstvo druhov. Nie je podstatou tejto práce vysvetľovať princíp funkcie a dôvody použitia každého typu, bude preto popísaný len základný princíp fungovania týchto snímačov. Snímač sa skladá z cievok navinutých na permanentnom magnete. Zmenou vzdialenosti struny od snímača dochádza k zmene magnetického indukčného toku v jadre cievky a vzniká tak elektromotorické napätie. To je ale veľmi malé, preto je potrebná cievka z čo najväčším počtom závitov. Jej indukčnosť tak môže byť až v jednotkách H. Preto nesmie byť zaťažovaná príliš nízkou impedanciou, aby nedochádzalo k nadmerne veľkému útlmu na vyšších frekvenciách, pretože reaktancia  $X_L$  cievky stúpa s rastúcou frekvenciou priamo úmerne podľa vzťahu:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (\Omega) \quad (2.6)$$

Obrázok 2.8 popisuje náhradnú schému zapojenia gitarového snímača.

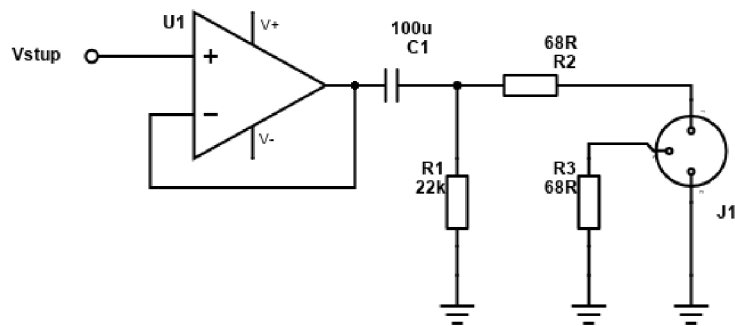


**Obr. 2.8: Náhradná schéma zapojenia gitarového snímača**

Cievka L1 predstavuje indukčnosť samotného snímača, tá môže mať v závislosti od typu hodnotu približne v rozsahu od 1 do 10 H, existujú však aj typy s inými hodnotami. R1 predstavuje jednosmerný sériový odpor cievky a tiež prípadný odpor potenciometra nastavenia hlasitosti, ten však v simuláciách nie je uvažovaný. Kondenzátor C1 napodobňuje kapacitu tónovej clony a tiež nežiadúce parazitné kapacity potenciometrov a konektorov.

#### 2.4.1.4 Linkový výstup

Linkové výstupy môžeme nájsť na rôznych typoch zariadení. Najčastejšie sa využívajú v elektronických hudobných nástrojoch, rôznych prehrávačoch či vo výstupoch mixážnych pultov. V praxi sa môžeme stretnúť so symetrickými aj nesymetrickými výstupmi, avšak kvôli pomerne nízkej výstupnej impedancii a tým, že sú tiež často zaťažované relatívne nízkou impedanciou, nie sú až tak náchylné k problémom so šumom a naindukovanými nežiadúcimi rušivými signálmi. Jednoduchý budič linkového výstupu môžeme vidieť na obrázku 2.9. Výstupná impedancia závisí od použitého OZ a v tomto prípade aj rezistora R2 zabezpečujúceho stabilitu na vysokých frekvenciách, typická hodnota je v rozsahu približne od 100 do 600  $\Omega$ . Rezistor R1 zabezpečuje vybíjanie kondenzátora C1, zároveň s ním však tvorí hornú priepusť. Tá má s uvedenými hodnotami súčiastok medznú frekvenciu 2,6 Hz pri záťaži 600  $\Omega$  [1]. R3 má vplyv na lepšie potlačenie súhlasných napätí pri budení symetrického vstupu.

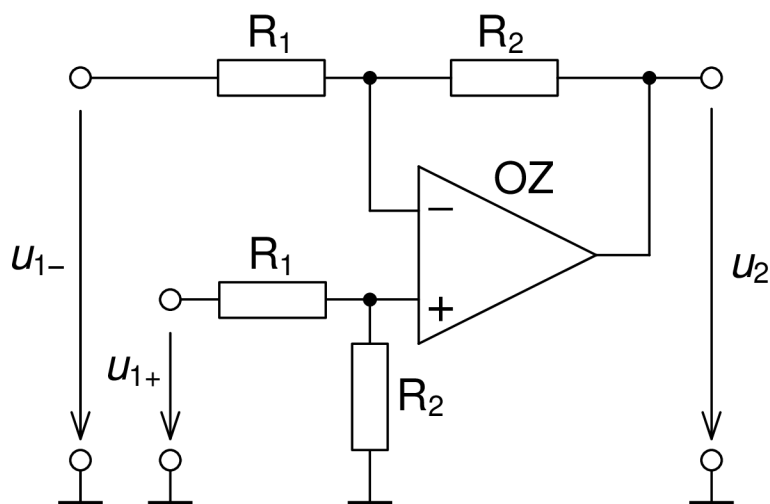


Obr. 2.9: Schéma zapojenia linkového výstupu [1]

#### 2.4.2 Vstupné impedancie zosilňovačov

Obvody spracovávajúce signál zo zdrojov popísaných v predchádzajúcej podkapitole obsahujú spravidla operačné zosilňovače. Väčšinou sa jedná o rôzne typy mixážnych pultov, rekordérov, efektov, prípadne iných prístrojov využívaných pri spracovávaní zvuku. Na začiatku signálovej cesty bežného mixážneho pultu alebo zvukovej karty môžeme nájsť typické zapojenie diferenčného zosilňovača s OZ. Ten slúži na spracovanie symetrického signálu kde na vstupné svorky  $u_{1+}$  a  $u_{1-}$  sú privedené vodiče HOT a COLD s napätím navzájom fázovo posunutým o  $180^\circ$  a tie sa navzájom odčítajú. Ak sa do oboch vodičov súčasne naindukujú súhlasný rušivý signál, dôjde rovnako k jeho odčítaniu a tým k jeho eliminácii. Prenos tohto zapojenia je potom daný vzťahom:

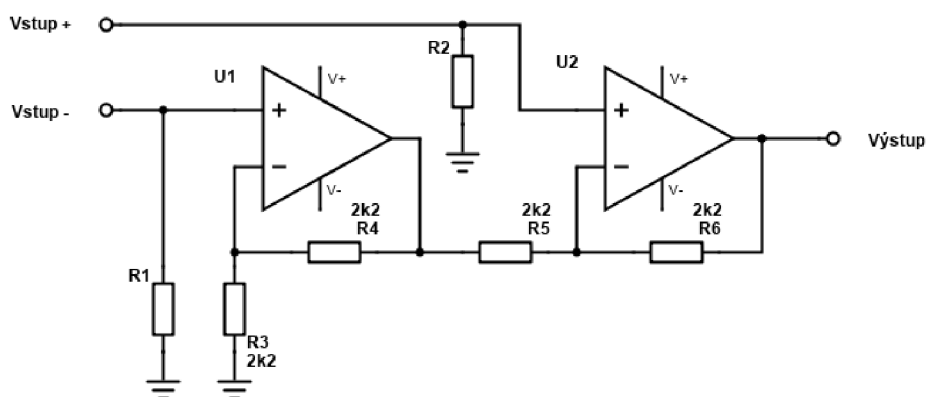
$$u_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot (u_{1+} - u_{1-}) \quad (\text{V}) \quad (2.7)$$



**Obr. 2.10: Diferenčný zosilňovač s OZ [1]**

Vstupná impedancia tohto zapojenia je daná odporom  $R_1$  pre invertujúcu vetvu a sériovou kombináciou  $R_1+R_2$  pre neinvertujúcu vetvu [2]. Nevýhodou tohto zapojenia je zložitejšia zmena vstupnej impedancie bez zmeny zosilnenia.

Lepšou alternatívou môže byť zapojenie na obrázku 2.11, ktoré využíva 2 neinvertujúce zapojenia OZ. Vstupná impedancia je daná len odpormi  $R_1$  a  $R_2$ , keďže neinvertujúce vstupy OZ majú takmer nekonečný odpor [1].



**Obr. 2.11: Diferenčný zosilňovač s OZ s vysokou vstupnou impedanciou [1]**

Typická hodnota vstupnej impedancie mikrofónových predzosilňovačov je v rozmedzí  $2k\Omega$  až  $5k\Omega$ . Linkový vstup máva impedanciu približne  $10k\Omega$ . Vysokoimpedančný HI-Z vstup používaný najmä na pripojovanie elektrických gitár, basových gitár, ale aj vysokoimpedančných dynamických mikrofónov či gramofónových prenosiek má minimálnu hodnotu vstupnej impedancie na úrovni  $100k\Omega$ , častejšie však omnoho vyššiu až do  $1M\Omega$ . [1]

### 3. SIMULÁCIE PRENOSU

Táto kapitola predstavuje výsledky simulácií lineárneho skreslenia, fázového skreslenia a útlmu signálu medzi výstupom jedného zvukového zariadenia a vstupom iného zariadenia pri rôznych dĺžkach a typoch prepojovacieho kábla. Simulácie boli vytvorené v simulačnom programe Micro-Cap. Boli pritom využité náhradné schémy zariadení popísané v predchádzajúcich kapitolách a hodnoty súčiastok boli volené tak, aby zodpovedali skutočným parametrom bežne používaných prístrojov. Keďže vlastnosti zvukových zdrojov sa nedajú určiť úplne všeobecne, pretože existuje veľké množstvo rôznych typov mikrofónov, gitarových snímačov a podobne, boli vybrané krajné hodnoty parametrov, poprípade priemerná hodnota zodpovedajúca väčšine z dostupných zdrojov informácií.

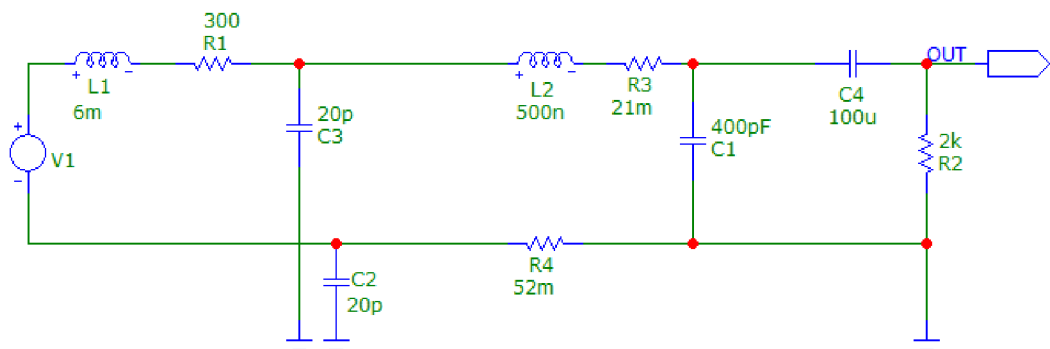
Kombinácie zdroja zvuku a zariadenia, ktoré ho spracováva boli volené tak aby zodpovedali reálnym zapojeniam. Niektoré simulácie však boli zámerne vykonané aj s netradičnými kombináciami, aby bolo jasne zreteľné, aký vplyv na signál môže mať nesprávne prepojenie komponentov. Na porovnanie boli vybrané dva typy káblov s vlastnosťami volenými tak, aby zodpovedali krajným hodnotám parametrov a teda predstavovali „najhoršiu a najlepšiu“ variantu. Literatúra [1] síce uvádza, že bežné hodnoty parazitnej kapacity sú v rozsahu 50 až 150 pF na meter dĺžky, no ako príklad boli zvolené dva vodiče z tabuľky 2.1, konkrétne typ 6300FH a W2552 s mierne odlišnými hodnotami. V každom prípade boli zvolené rovnaké dĺžky: 0,5m, 1m, 2m, 5m, 10m a 50m, aby bolo znázornené, aký vplyv na lineárne skreslenie majú rôzne dlhé prepojovacie káble. Pri všetkých simuláciách bolo zvolené nesymetrické zapojenie, aby sa tak dali jednoduchšie porovnať výsledky. Tabuľka 3.1 zobrazuje prepočítané parametre podľa týchto dĺžok, tie sú následne použité v simuláciách.  $R_v$  pritom vyjadruje odpor vlastného vodiča a  $R_T$  odpor tienenia.

Tab. 3.1: Prepočet parametrov v závislosti od dĺžky vodičov

Dĺžka (m)	6300FH				W2552			
	$R_v$ (m $\Omega$ )	$R_T$ (m $\Omega$ )	C (pF)	L ( $\mu$ H)	$R_v$ (m $\Omega$ )	$R_T$ (m $\Omega$ )	C (pF)	L ( $\mu$ H)
0,5	10,5	26	206,5	0,25	70	12	45	0,4
1	21	52	413	0,50	140	24	90	0,8
2	42	104	826	1	280	48	180	1,6
5	105	260	2065	2,5	700	120	450	4
10	210	520	8260	5	1400	240	900	8
50	1050	2600	20650	25	7000	1200	4500	40

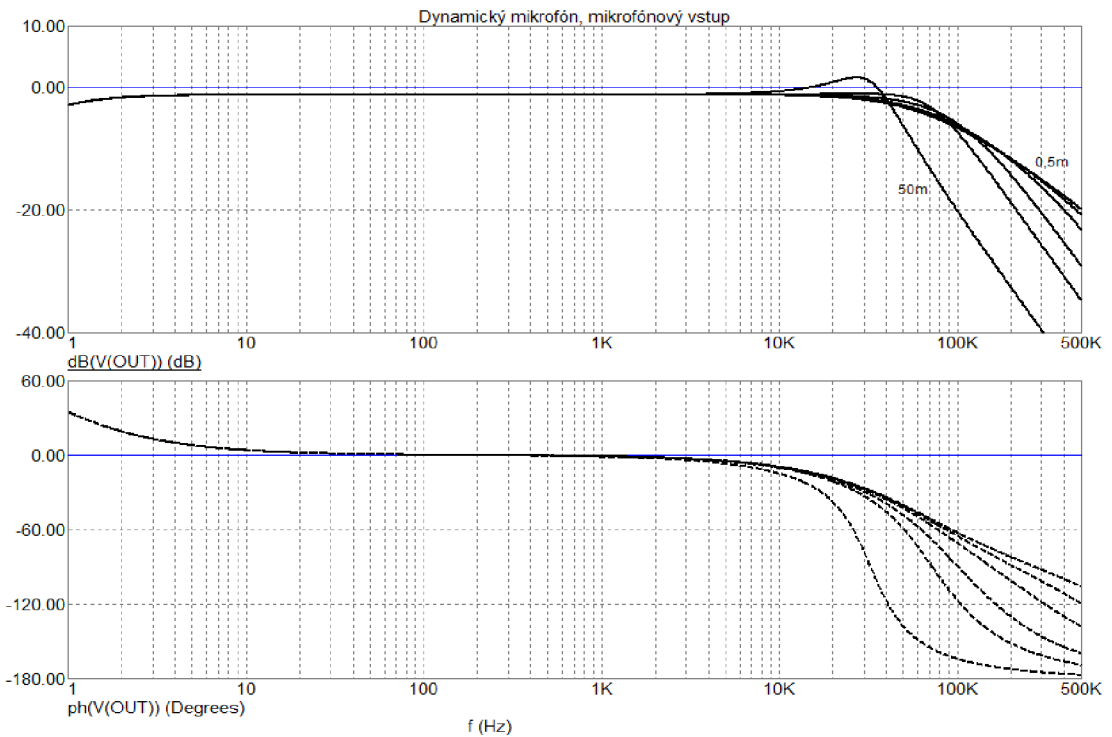
### 3.1 Dynamický mikrofón

Simulácie s dynamickým mikrofónom boli vytvorené pomocou zjednodušeného zapojenia mikrofónovej kapsule, kde celková impedancia komponentov podľa obrázka 2.5 je nahradená sériovou indukčnosťou  $L1 = 6 \text{ mH}$  a odporom  $R1 = 300 \text{ } \Omega$ , tieto prvky napodobňujú skutočnú impedanciu pri frekvencii  $1 \text{ kHz}$  [3]. Kondenzátory C2 a C3 predstavujú parazitné kapacity súčiastok a konektora. Prvky C1, L2, R3 a R4 simulujú vlastnosti prepojovacieho kábla, sú postupne nahradzované hodnotami z tabuľky 2.1, pričom R3 predstavuje odpor vodiča ( $R_v$  v tabuľke) a R4 vyjadruje odpor tienenia (v tabuľke ako  $R_T$ ). Mikrofónový vstup bol zvolený so vstupnou impedanciou  $2 \text{ k}\Omega$ , danou odporom R2, keďže zaťažovacia impedancia by mala dosahovať približne 10-násobok výstupnej impedancie zdroja, aby došlo k dostatočnému potlačeniu šumu a zároveň aby signál nebol príliš utlmený [1]. Kondenzátor C4 na vstupe slúži na filtrovanie prípadnej DC zložky signálu. Na obrázku 3.1 sa nachádza schéma zapojenia použitá pri simulácii.

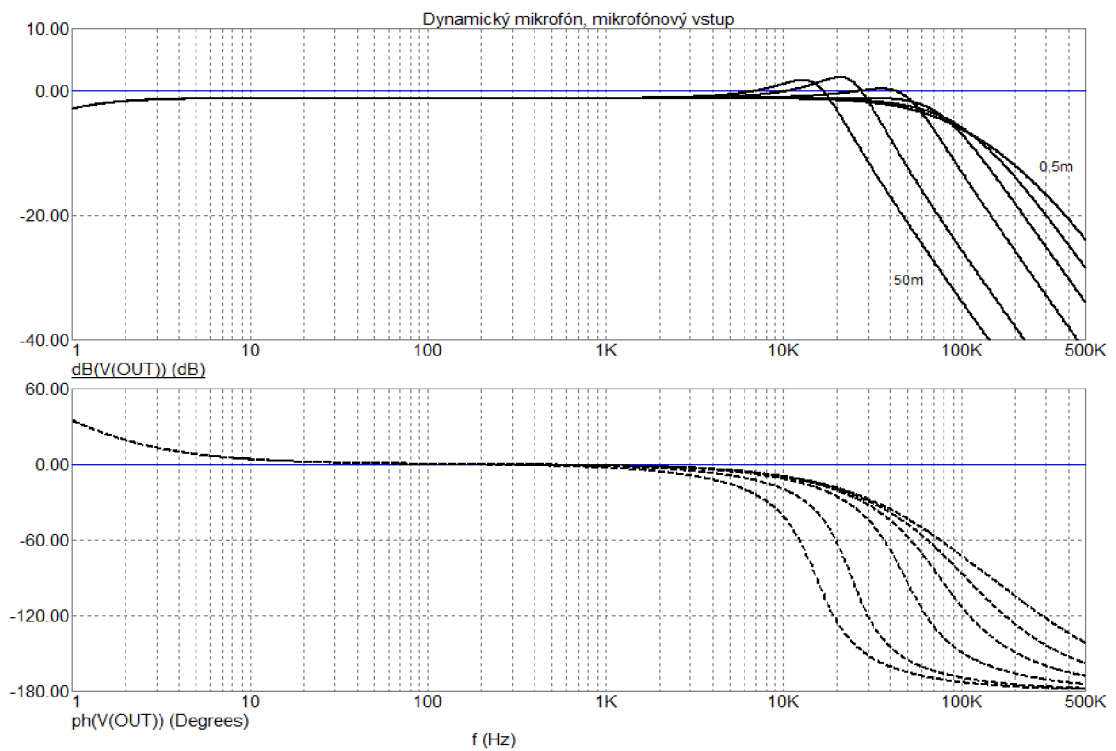


**Obr. 3.1:** Schéma simulácie dynamický mikrofón - mikrofónový vstup

Simulácia bola vykonaná vo frekvenčnom pásme  $1 \text{ Hz}$  až  $500 \text{ kHz}$ , aby boli dobre viditeľné zmeny priebehov. Grafy na obrázkoch 3.2 a 3.3 ukazujú rozdielne modulové frekvenčné a fázové charakteristiky závislé od typu a dĺžky prepojovacích káblov. Je vidieť vplyv dĺžky na frekvenciu, pri ktorej sa začínajú uplatňovať pasívne súčiastky a tvoriť filter typu dolná priepusť. Kábel s horšími parametrami tiež spôsobí pokles prenosu na nižších frekvenciách, najmä pri väčších dĺžkach. Celkový útlm v lineárnom pásme je okolo  $-1 \text{ dB}$ .



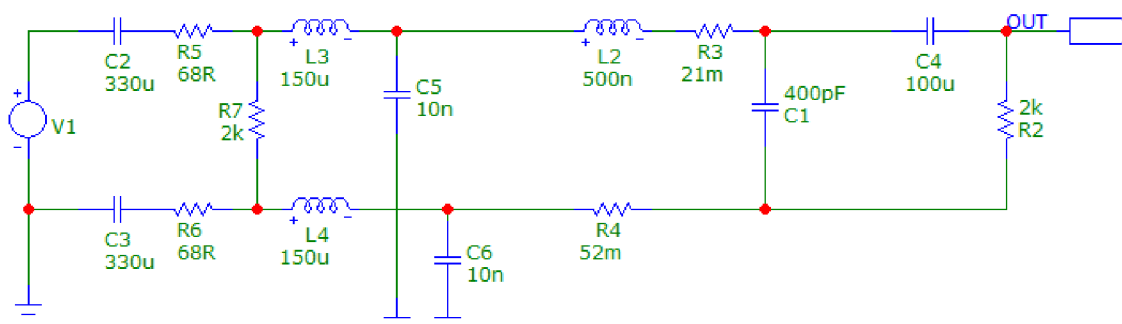
**Obr. 3.2: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel W2552**



**Obr. 3.3: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 6300FH**

## 3.2 Kondenzátorový mikrofón

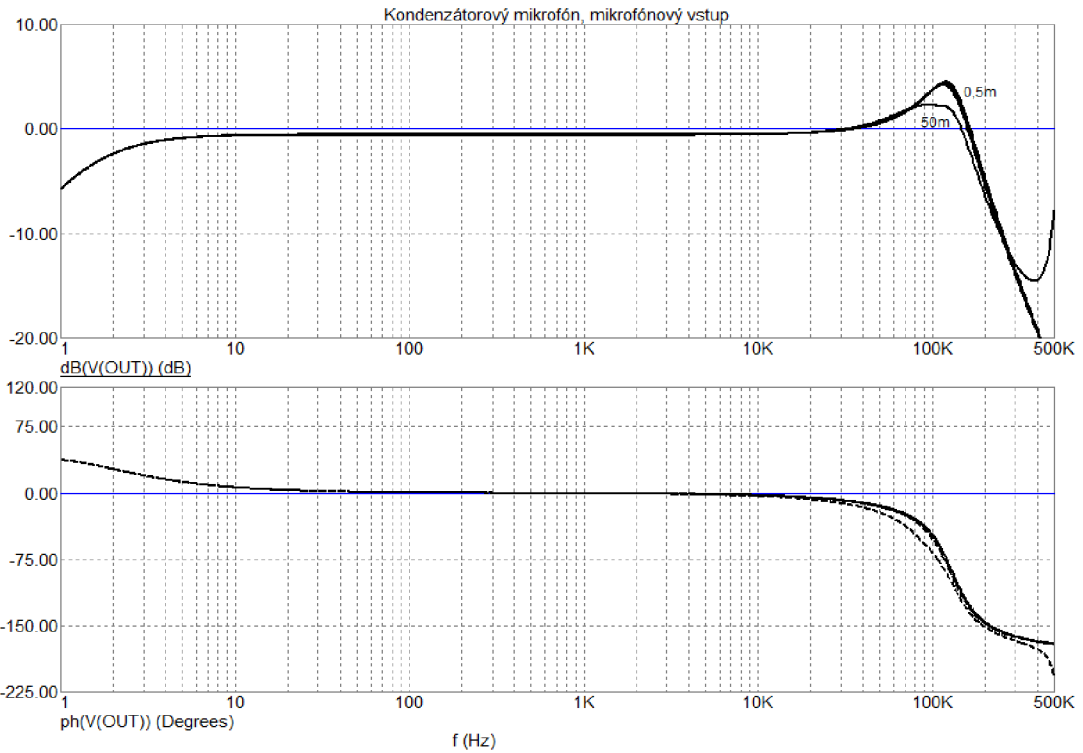
V prípade kondenzátorového mikrofónu bola využitá schéma zapojenia podľa literatúry [1], popísaná v kapitole 2.4.1.2, zjednodušená o výstupnú tlmivku L3. Prvky tvoriace vstupnú impedanciu a impedanciu kábla ostávajú rovnaké ako v predošlom prípade. Zmenilo sa tiež umiestnenie referenčnej zeme, aby boli brané do úvahy aj komponenty v spodnej vetve. Simulácia bola opäť vykonaná v pásme od 1 Hz do 500 kHz. Obrázok 3.4 popisuje schému zapojenia tejto simulácie.



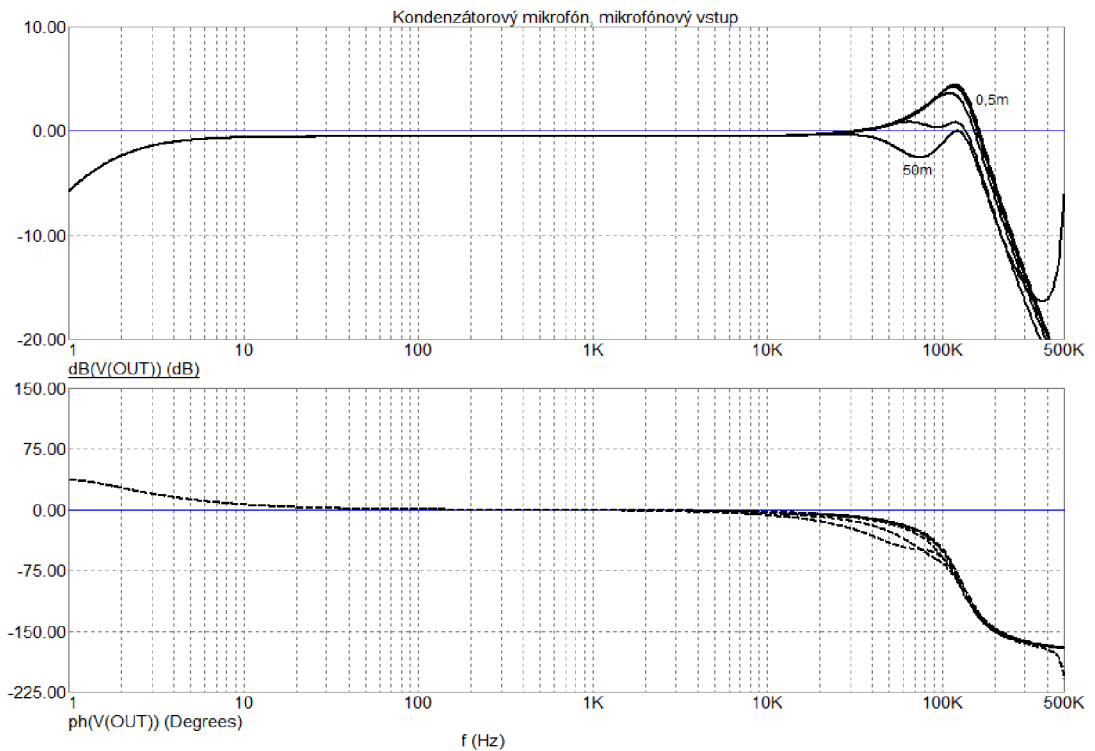
Obr. 3.4: Schéma simulácie kondenzátorový mikrofón - mikrofónový vstup

Obrázky 3.5 a 3.6 zobrazujú priebehy lineárneho skreslenia s výstupnou impedanciou kondenzátorového mikrofónu. Môžeme pozorovať, že priebeh je viac vyrovnaný, dĺžka kábla sa uplatňuje len minimálne. Je to spôsobené tým, že takéto zapojenie sa správa viac ako tvrdý zdroj, sériová impedancia je dostatočne malá a vplyv impedancie kábla tak nemá až tak veľký vplyv. Nárast modulu prenosu na frekvenciách okolo 100 kHz je zapríčinený rezonanciou pasívnych prvkov L3, L4 a C5, C6. Celkový útlm v lineárnom pásme prenosu je pomerne malý, okolo  $-0,5$  dB.





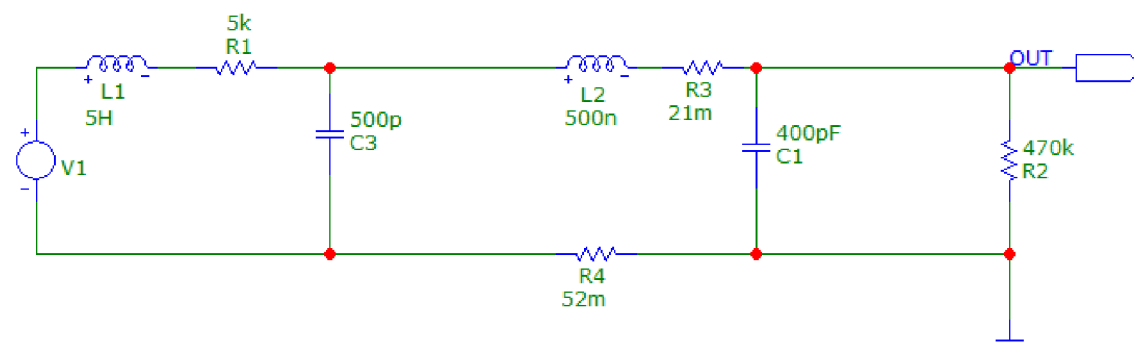
**Obr. 3.5: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel W252**



**Obr. 3.6: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 6300FH**

### 3.3 Gitarový snímač

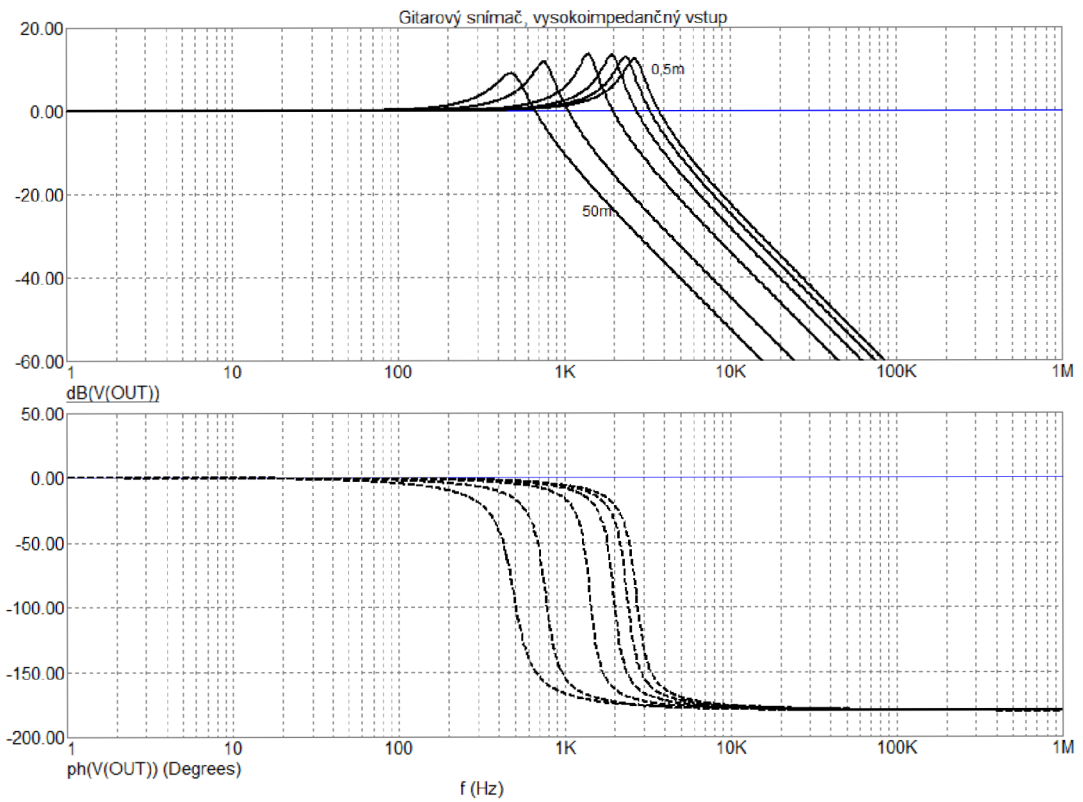
V simulácii charakteristiky gitarového snímača bola opäť využitá jeho náhradná schéma, podobne ako v predošlých prípadoch, popísaná v kapitole 2.4.1.3. Indukčnosť cievky snímača bola zvolená ako stredná hodnota z bežného rozsahu, teda 5 H. Jej sériový odpor vyjadruje rezistor R1 s hodnotou 5 k $\Omega$ . Kondenzátor C3 simuluje kapacity potenciometrov, konektorov a tónovej clony. Simulácia kábla zostáva opäť rovnaká ako v predchádzajúcich schémach. Zmenila sa však vstupná impedancia, ktorá teraz predstavuje vysokoimpedančný vstup s odporom 470 k $\Omega$ . Schému simulácie popisuje obrázok 3.7. Frekvenčné pásmo simulácie je opäť rovnaké, 1 Hz až 500 kHz.



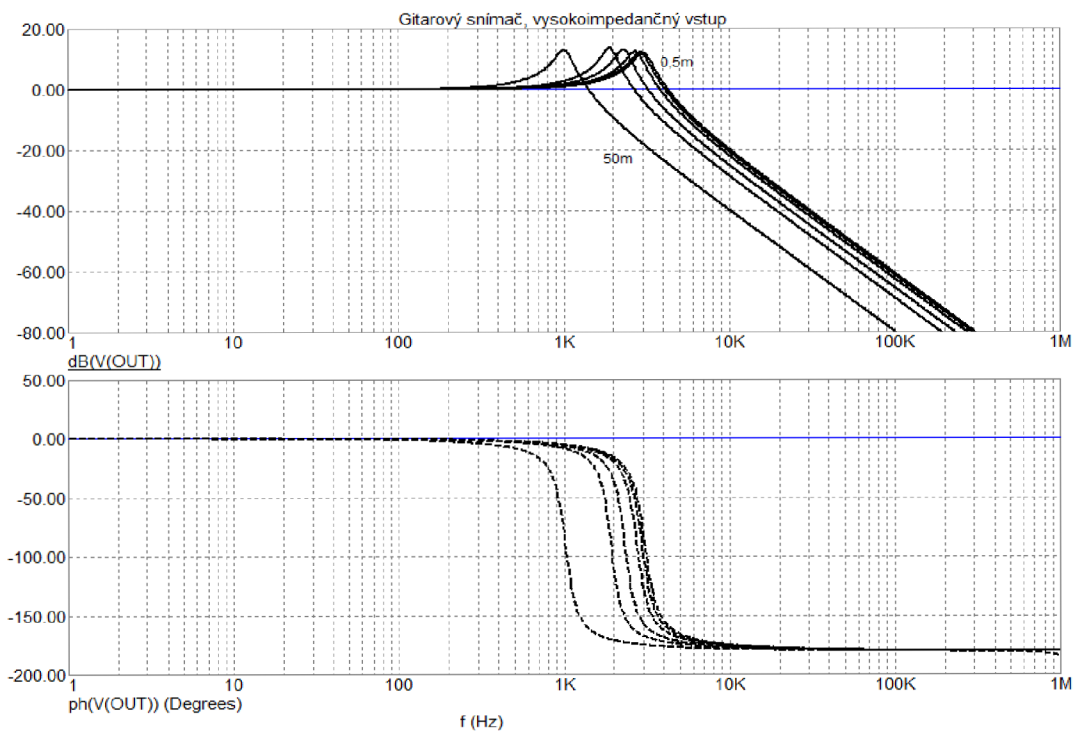
**Obr. 3.7: Schéma simulácie gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup**

Grafy na obrázkoch 3.8 a 3.9 zobrazujú priebeh lineárneho skreslenia závislého na frekvencii. Hlavný vplyv na jeho charakteristiku má tónová clona s kondenzátorom C3 a dôležitú úlohu hrá vstupná impedancia, ktorá musí byť vysoká, aby nezaťažovala snímač. Vplyv parametrov kábla je v tomto prípade rovnako nezanedbateľný, menej kvalitný kábel s väčšou parazitnou kapacitou spôsobí pokles prenosu na nižšej frekvencii a s vyššou strmosťou. S uvedenými hodnotami súčiastok klesá prenos pri 1m kábli o 3 dB približne na frekvencii okolo 4 kHz. Iné typy snímačov s nižšou indukčnosťou a parazitnou kapacitou môžu mať túto medznú frekvenciu vyššiu. Nárast modulu prenosu až na približne +10 dB spôsobuje paralelná rezonancia L1 a C3.

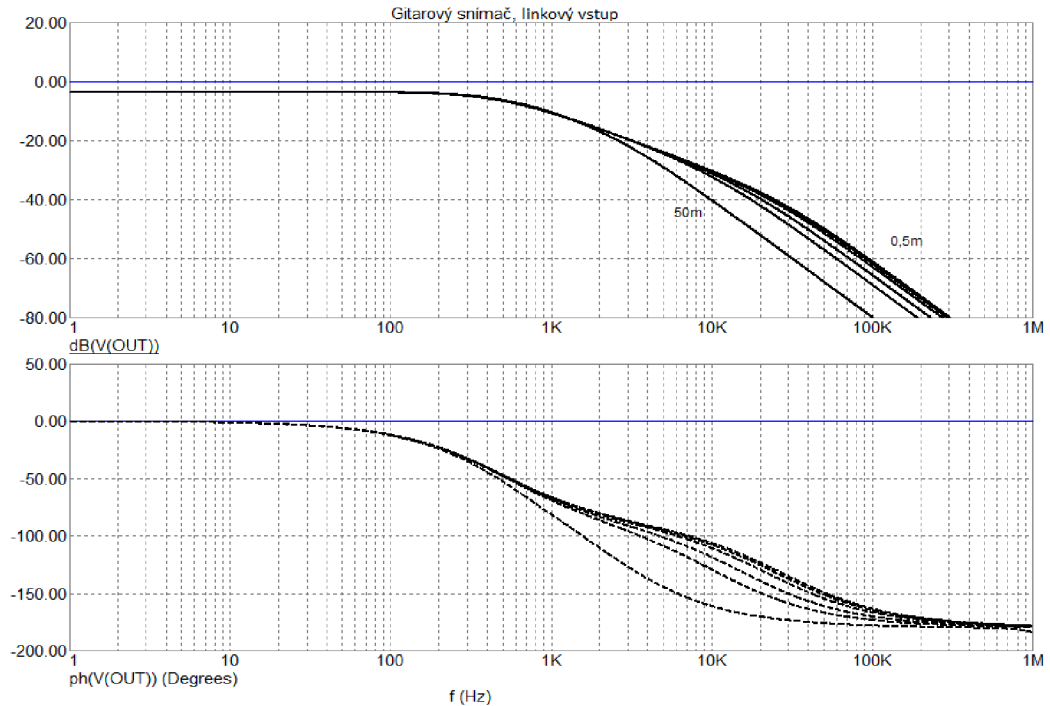
Obrázok 3.10 ukazuje, aký dôsledok by malo pripojenie gitarového snímača k linkovému vstupu s impedanciou 10 k $\Omega$ . Okrem útlmu približne o 5dB v celom pásme dôjde k poklesu o 3 dB oproti lineárnej oblasti prenosu už na frekvencii okolo 600 až 700 Hz.



**Obr. 3.8: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup, kábel 6300FH**



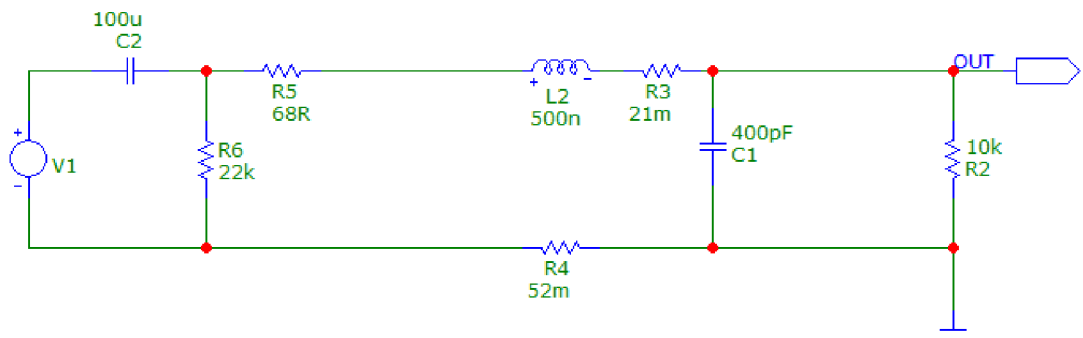
**Obr. 3.9: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - vysokoimpedančný vstup, kábel W2552**



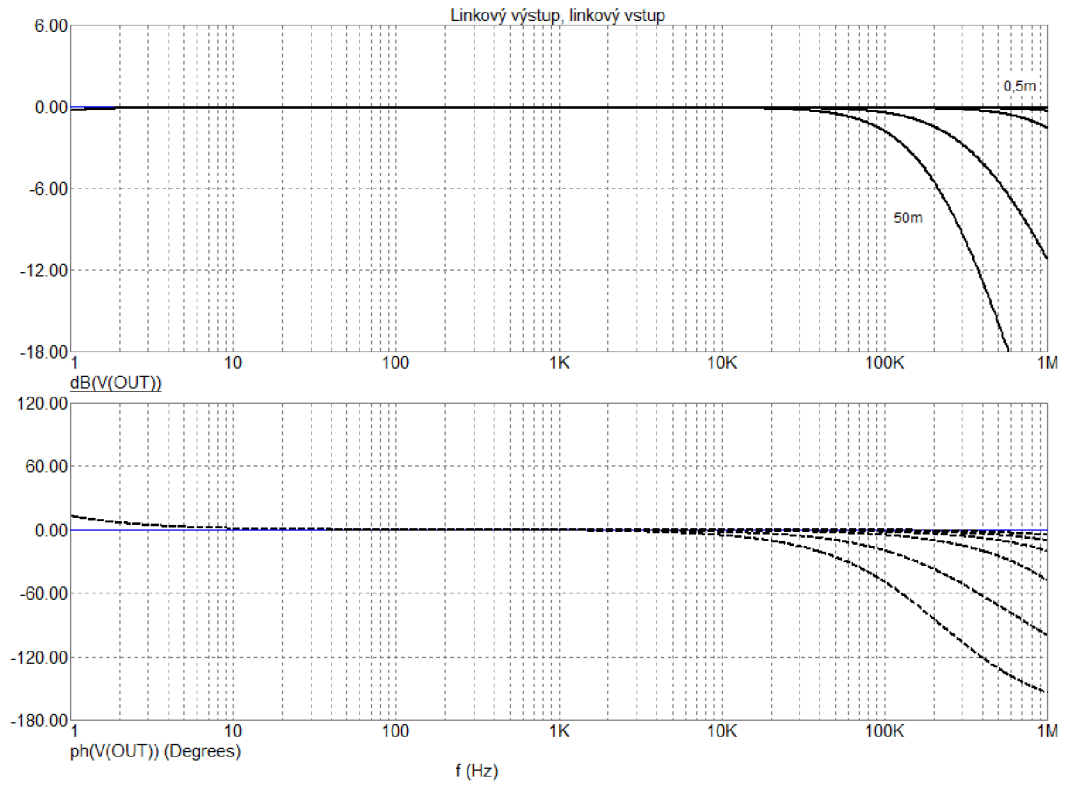
**Obr. 3.10: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač - linkový vstup (10 k $\Omega$ ), kábel W2552**

### 3.4 Linkový výstup

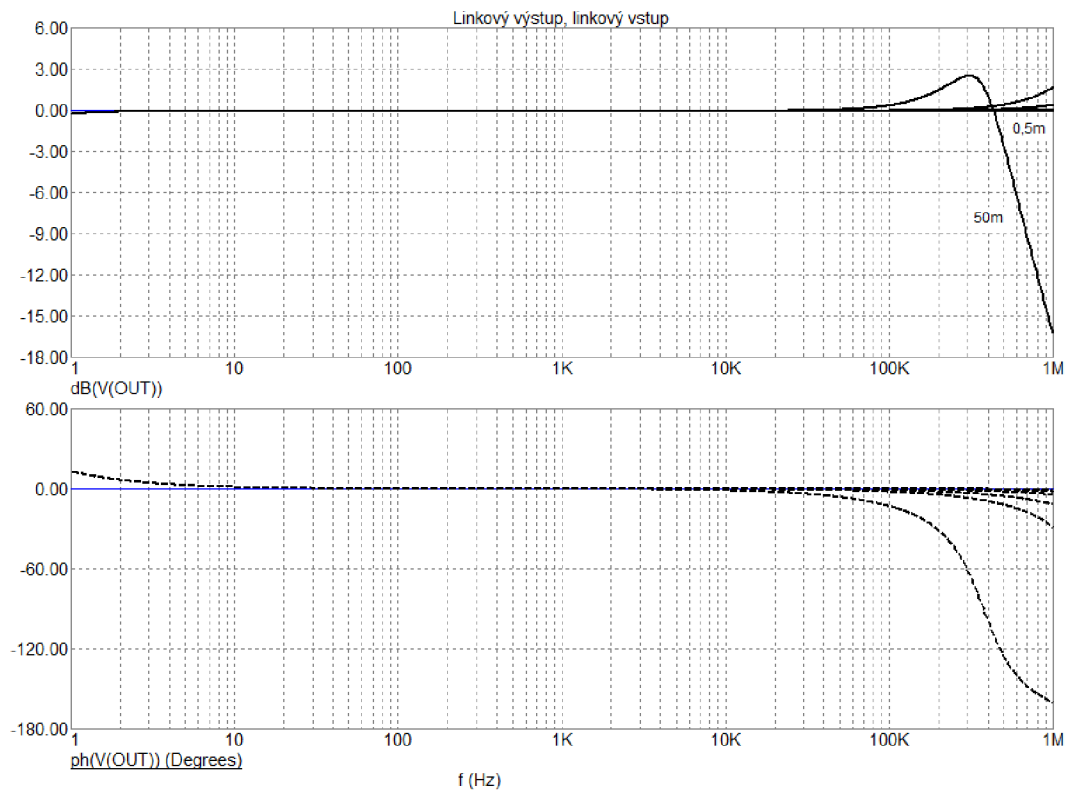
Linkový výstup je modelovaný sériovou kapacitou oddelovacieho kondenzátora C2 spolu s jeho vybíjacím rezistorom R6 a sériovým rezistorom R5 slúžiacim na zlepšenie stability pri budení dlhých prepojovacích káblov. Impedanciu linkového vstupu predstavuje R2 s hodnotou 10 k $\Omega$ . Schéma zapojenia tejto simulácie je na obrázku 3.11. Prenos takéhoto zapojenia je extrémne vyrovnaný, simulácia je preto v pásme až do 1 MHz. Najväčší vplyv na prenos má samotná kapacita kábla tvoriaca dolnú priepusť. Pri kvalitnejšom kábli s nižšou kapacitou sa pri väčšej dĺžke prejaví rezonancia zdvíhajúca prenos nad 0 dB.



**Obr. 3.11: Schéma simulácie linkový výstup - linkový vstup**



**Obr. 3.12: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup - linkový vstup, 630FH**



**Obr. 3.13: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup - linkový vstup, W2552**

## 4. NÁVRH A KONŠTRUKCIA PRÍPRAVKOV NA MERANIE VLASTNOSTÍ PRENOSU

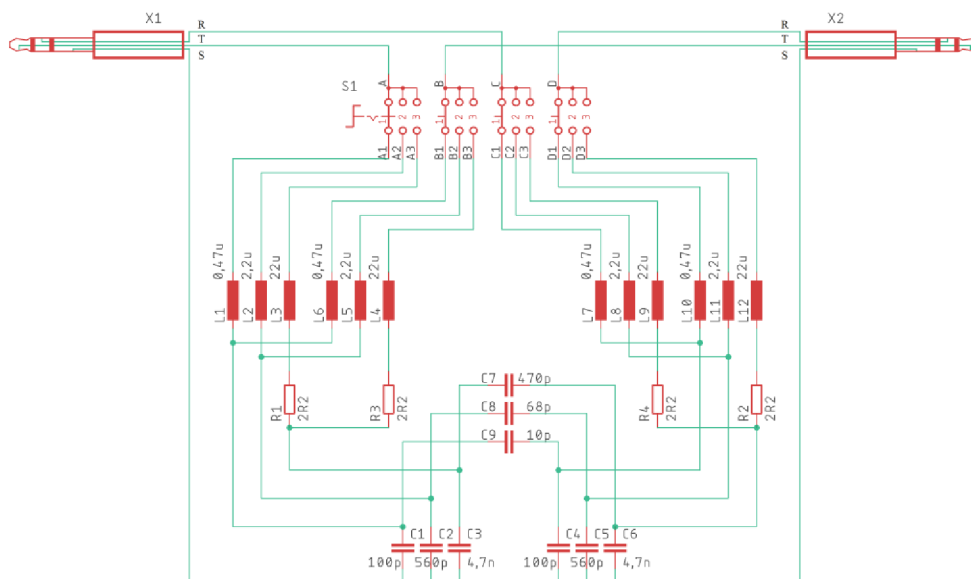
Aby bolo možné experimentálne overiť simulácie popísané v kapitole 3, je potrebné navrhnuť a zostrojiť prípravky, ktoré takéto meranie umožnia. V princípe ide o linkový zosilňovač s nastaviteľnou výstupnou impedanciou, ktorý simuluje výstupnú impedanciu zdrojov zvuku ako rôzne mikrofóny, gitarový snímač a linkový výstup zvukových zariadení, ďalej linkový zosilňovač s nastaviteľnou vstupnou impedanciou napodobňujúci impedanciu mikrofónového, linkového a HI-Z vstupu. Na prepojenie týchto prvkov bude použitý krátky prepojovací kábel doplnený o pasívne súčiastky tak, aby bolo možné v niekoľkých krokoch nastaviť simulované zväčšenie dĺžky tohto kábla. V nasledujúcich podkapitolách sú popísané návrhy jednotlivých prípravkov, ich schémy zapojenia a simulácie s reálnymi hodnotami. Súčiastky sú volené s prihliadnutím na dostupnosť a ich hodnoty vybrané z existujúcich radov. Všetky použité diely boli vybrané zo sortimentu predajne GME.

### 4.1 Prepojovací kábel so simulovanou dĺžkou

Z dôvodu potreby merania symetrického (mikrofóny) aj nesymetrického (gitara, linka) zdroja signálu, je použitý symetrický kábel, ktorého oba pracovné vodiče HOT aj COLD sú doplnené o pasívne súčiastky a prepínač simulovanej dĺžky. Aby sa obvody navzájom neovplyvňovali, je potrebné tieto vodiče pripájať k zaťažujúcej impedancii na oboch koncoch, tým pádom potrebujeme štyri prepínače. Najdostupnejším variantom je otočný prepínač so 4-krát troma kontaktami, čiže môžeme simulovať tri rôzne dĺžky kábla. Pre lepšie porovnanie so simuláciami a taktiež kvôli väčším rozdielom sú zvolené dĺžky 1 m, 5 m a 50 m, kedy je možné vidieť vplyv aj pri pomerne veľkých, nie často používaných dĺžkach prepojovacieho kábla.

Na prepojenie prípravku so zosilňovačmi je použitý mikrofónový kábel celkovej dĺžky približne 0,5 m, na oboch koncoch zakončený TRS konektormi. Vplyv parazitných vlastností týchto dielov je minimálny a je zahrnutý do výpočtu hodnôt súčiastok tak, že ich indukčnosť, kapacita, respektíve odpor je znížený zaokrúhlením na najbližšiu hodnotu v rade. Tienenie tohto vodiča je využité podobne ako v praxi len ako ochrana proti rušeniu a za bežných podmienok ním neprechádza žiaden prúd. Preto vlastnosti tienenia ako odpor a indukčnosť nie sú zahrnuté ani v simuláciách a nebudú použité ani pri návrhu prípravku.

Na obrázku 4.1 vidíme schému zapojenia prípravku na simuláciu dĺžky kábla.



**Obr. 4.1: Schéma zapojenia simulátora dĺžky kábla**

Keďže sa parametre káblov líšia v závislosti od typu, bol ako základ pre výpočet hodnôt súčiastok vybraný typ Mogami W2552 z tabuľky 2.1. Aby sa dal kábel použiť oboma smermi, je potrebné použiť z oboch strán symetrické zapojenie simulovanej impedancie. S tohto dôvodu je v zapojení použitý symetrický T článok s rovnakými hodnotami indukčností na oboch koncoch. Kábel W2552 má indukčnosť vodičov približne  $0,8 \mu\text{H}$  na meter, boli preto vybrané cievky  $2 \times 0,47 \mu\text{H}$  pre 1m,  $2 \times 2,2 \mu\text{H}$  pre 5m a  $2 \times 22 \mu\text{H}$  pre 50m simuláciu. Ich parazitné odpory boli podľa ich katalógových listov dostatočne veľké na to, aby v prvých dvoch prípadoch nahradili odpor samotného kábla, v prípade 50m bol ku každej doplnený rezistor  $2,2\Omega$ . Kapacita vodiča vzhľadom k tieneniu je simulovaná kondenzátormi C1 až C6, hodnoty sú volené podľa tabuľky 3.1 a mierne zvýšené pre napodobnenie kábla s o niečo horšími parametrami. Kondenzátory C7 až C9 vyjadrujú kapacitu medzi vodičom HOT a COLD.

## 4.2 Linkový zosilňovač s nastaviteľnou vstupnou Z

Návrh zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou impedanciou využíva zapojenie diferenčného zosilňovača podľa obrázka 2.11 v kapitole 2.4.2. Pre jednoduchosť je znova použitý otočný prepínač so 4-krát troma kontaktami, aj keď je využitá len jeho polovica. Symetrické vstupy  $I^+$  a  $I^-$  sú privedené priamo na neinvertujúce vstupy OZ. Ten je typu TL072, čo je dvojité operačný zosilňovač s J-FET vstupmi, tým je jeho vstupný odpor extrémne veľký, až  $10^{12} \Omega$  [10]. Tento typ OZ bol zvolený z dôvodu potreby čo najvyššieho vstupného odporu, aby nedošlo k ovplyvňovaniu vstupnej impedancie, najmä pri využívaní HI-Z vstupu. Jeho vstupy sú ošetrené uzemňovacími odpormi R17 a R18 s hodnotou  $1 \text{ M}\Omega$ , aby



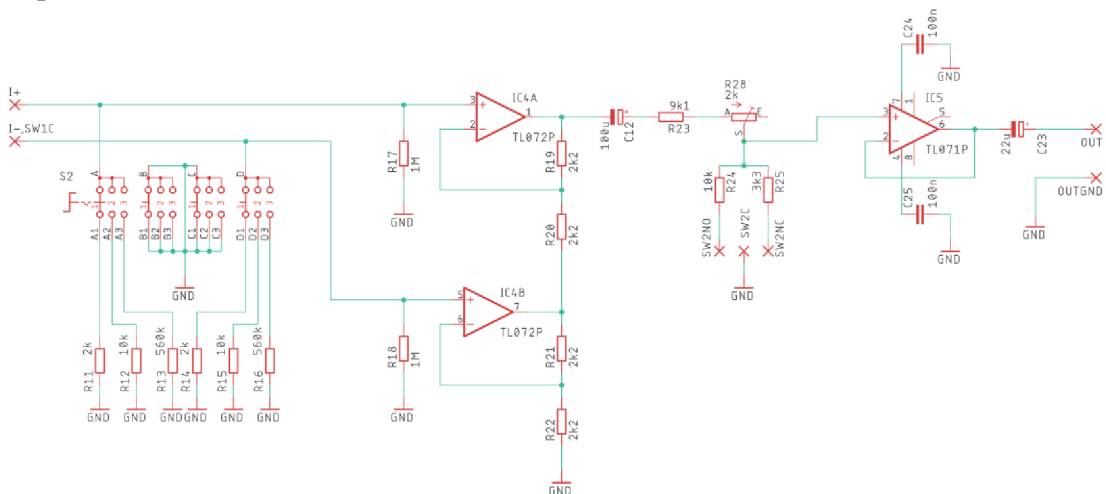
nedochádzalo k rušivým javom pri prepínaní vstupných impedancií a tiež pri nepripojenom kábli. Vstupná impedancia je simulovaná pomocou rezistorov R11 až R16, kde mikrofónový vstup predstavuje odpor 2 kΩ, linkový vstup má hodnotu 10 kΩ a vysokoimpedančný HI-Z vstup je tvorený odporom 560 kΩ. V poslednom prípade sa už uplatnia aj vstupné 1 MΩ rezistory, výsledná vstupná impedancia HI-Z vstupu je preto ich paralelnou kombináciou a po prepočte má hodnotu približne 350 kΩ.

Na výstupe OZ TL072 sa nachádza kondenzátor C12 oddeľujúci jednosmernú zložku signálu. Za ním nasleduje prepínateľný delič napätia tvorený rezistormi R23 až R25 a trimrom R28 slúžiacim na jemné doladenie prenosu na 0 dB. Ten je v zapojení použitý z dôvodu vyrovnanie prenosu, keďže diferenčný zosilňovač z IC4A a IC4B má v symetrickom režime napäťové zosilnenie 4 a v nesymetrickom režime zosilnenie 2 (vstup IC4B je uzemnený). Nesymetrický režim sa prepína prepínačom typu DPDT, ktorý cez rezistor 68Ω uzemňuje vstup I- (COLD) a zároveň prepína útlm napäťového deliča. Ten je vypočítaný pomocou vzťahu:

$$U_o = U_i \cdot R_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4.1)$$

kde  $U_o$  je vstupné napätie,  $U_i$  je výstupné napätie,  $R_1$  je horný rezistor (v našom prípade R23) a  $R_2$  je spodný rezistor (v našom prípade R24, respektíve R25). V symetrickom režime funguje ako delič 4 s rezistorom R23 s odporom 9,1 kΩ a trimrom R28 dostaveným presne na hodnotu 10 kΩ a R25 s hodnotou 3,3 kΩ. V nesymetrickom režime sa potom  $R_2$  zmení na 10 kΩ pre delenie napätia dvomi.

Za odporovým deličom nasleduje výstupný jednotkový zosilňovač s OZ TL071 a oddeľovacím kondenzátorom C23. Ten je na výstup zaradený kvôli zníženiu výstupnej impedancie a jeho oddelenie od predchádzajúcich obvodov. Všetky OZ majú kladné aj záporné napájanie blokované keramickými kondenzátormi 100 nF. Obrázok 4.2 predstavuje celkovú schému zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou impedanciou.



**Obr. 4.2: Schéma zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou Z**



## 4.3 Zosilňovač s nastaviteľnou výstupnou Z

Jednotlivé výstupné impedancie napodobňujú správanie sa reálnych obvodov a vychádzajú z náhradných schém a zapojení popísaných v predošlých kapitolách. Pre potreby prepínania štyroch typov impedancií je opäť využitý otočný prepínač, tentokrát však s 3-krát štyrmi kontaktami. Keďže gitary a linkové výstupy bývajú vo väčšine prípadov nesymetrické, sú v symetrickom režime simulované len oba druhy mikrofónov. Pri prepnutí na režim gitarového snímača alebo linkového výstupu dôjde k uzemneniu COLD výstupu a vznikne tak nesymetrický signál.

Na vstupe obvodu môžeme nájsť oddeľovací kondenzátor jednosmernej zložky C10 nasledovaný dvomi operačnými zosilňovačmi s jednotkovým prenosom, opäť typu TL072, jeden neinvertujúci, budiaci vetvu HOT a druhý invertujúci, budiaci vetvu COLD. Vstupná impedancia tohto obvodu je daná rezistorom R1, v tomto prípade 22 k $\Omega$ . Invertujúca vetva je priamo privedená na súčiastky simulujúce impedancie dynamického (L3, R8 a C17) a kondenzátorového (C13, R9, L4 a C18) mikrofónu. Následne je po zvolení týchto charakteristík privedená na výstup O- (COLD). Neinvertujúca vetva pokračuje na prepínač rozdeľujúci signál medzi jednotlivé impedancie.

Prvou voľbou je charakteristika dynamického mikrofónu, zapojenie je popísané v kapitole 3.1. Celková indukčnosť 6 mH je rozdelená na polovicu pre HOT a COLD vetvu, sú použité cievky 3,3 mH (L1 a L3). Rovnako sériové odpory R3 a R8 sú rozdelené na polovicu, sú však zmenšené o hodnotu parazitného odporu cievok, ktorá je podľa katalógu približne 50  $\Omega$ .

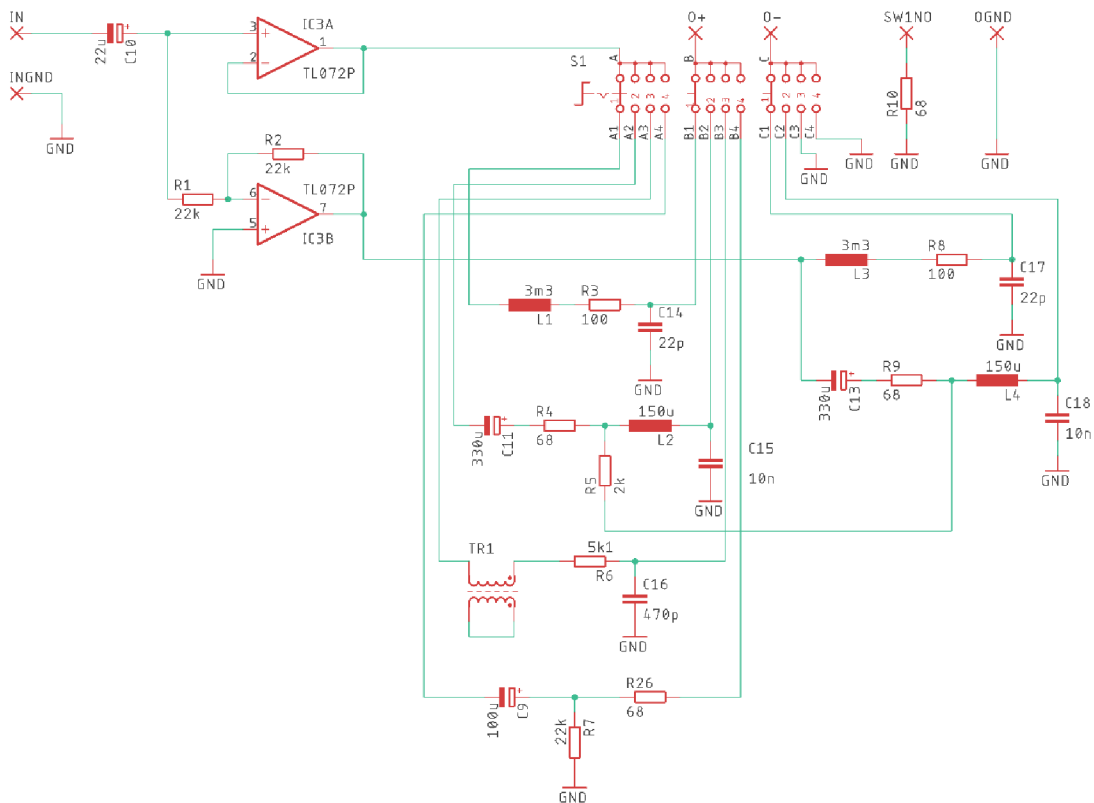
Druhá poloha zodpovedá výstupnej charakteristike kondenzátorového mikrofónu. Je použité nezmenené zapojenie z podkapitoly 2.4.1.2. Túto časť tvoria komponenty C11, R4, R5, L2 a C15.

Ďalšia časť napodobňuje výstupnú impedanciu gitarového snímača. Je využitá jeho náhradná schéma podľa obrázka 2.8 v kapitole 2.4.1.3. Pretože je v zapojení potrebná cievka s pomerne veľkou indukčnosťou, ktorá by za normálnych podmienok mala príliš veľké rozmery, je na jej mieste využitý malý sieťový transformátor, ktorého primárne vinutie má dostatočne veľkú indukčnosť. Táto skutočnosť bola experimentálne overená a bolo zistené, že je taktiež potrebné skratovať sekundárne vinutie, keďže samotný primár mal indukčnosť príliš veľkú a skrat sekundáru ju dokázal znížiť. Meraním bolo zistené, že indukčnosť takto zapojeného transformátora (konkrétne typu BV 201 0145 (1x12V)) je približne 7 H, čo je pre náš účel vyhovujúce. V návrhu je tiež uvedený rezistor R6, ktorý simuluje sériový odpor vinutia snímača, jeho hodnota môže byť upravená podľa konkrétneho typu transformátora. Vyššie uvedený typ mal však zmeraný parazitný sériový odpor vinutia pomerne veľký, až 14,5 k $\Omega$ , preto bol vo finálnom zapojení tento rezistor vynechaný a na doske nahradený prepojkou. Simulácia bola taktiež vykonaná

s použitím týchto zmeraných údajov. Kondenzátor C16 vyjadruje kapacitu tónovej clony a tiež konektorov a potenciometrov.

Posledná časť predstavuje napodobnenie charakteristiky linkového výstupu. Rovnako aj v tomto prípade návrh vychádza zo zapojenia v kapitole 2.4.1.4. Obvod je tvorený súčiastkami C9, R7 a R26. Linkový výstup by mal v ideálnom prípade mať čo najnižšiu výstupnú impedanciu a celkovo mať čo najmenší vplyv na prenos.

Rezistor R10 slúži na uzemnenie COLD vodiča pripojeného kábla v prípade využitia nesymetrického režimu. Na obrázku 4.3 môžeme vidieť celkové zapojenie prípravku zosilňovača s nastaviteľnou výstupnou impedanciou.



Obr. 4.3: Schéma zosilňovača s nastaviteľnou výstupnou Z

## 4.4 Napájací zdroj

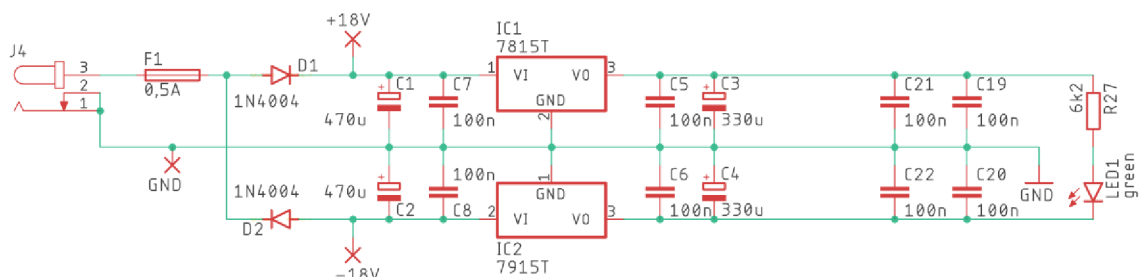
Operačné zosilňovače pre svoju funkciu vyžadujú stabilné symetrické napájanie. Typy použité v prípravku (TL072 a TL071) majú byť podľa katalógového listu [10] napájané symetrickým napätím  $\pm 15$  V. Toto napätie je možné získať použitím stabilizovaného laboratórneho zdroja s kladným aj záporným napätím nastaveným na 15 V, respektíve -15 V. Ak by však došlo k náhodnému prekročeniu

maximálneho povoleného napájacieho napätia, mohli by sa OZ zničiť. S tohto dôvodu sú v zdroji použité stabilizátory napätia typu 7815 pre kladnú vetvu a 7915 pre zápornú vetvu. Aby boli prípravky univerzálnejšie a pre väčšiu variabilitu napájania bez potreby laboratórneho zdroja je na vstup zaradený zdvojovač napätia s plávajúcím stredom tvorený diódami D1 a D2 a vyhladzujúcimi kondenzátormi C1 a C2. Takto je možné napájať prípravok ľubovoľným zdrojom striedavého napätia 12 až 18 V, keďže minimálne napätie pre správnu funkciu stabilizátorov musí byť približne o 1,5 V vyššie, ako napätie výstupné, a horná hranica je obmedzená ich maximálnym vstupným napätím (asi 40 V) alebo maximálnym napätím kondenzátorov C1 a C2. Musíme samozrejme počítať so špičkovou hodnotou, ktorá po usmernení zodpovedá napätiu podľa vzťahu:

$$U_o = (U_I \cdot \sqrt{2}) - U_D \quad (\text{V}) \quad (4.1)$$

kde  $U_o$  je vstupné striedavé napätie,  $U_I$  je výstupné jednosmerné napätie a  $U_D$  je úbytok napätia na dióde. Pri vstupnom napätí 12V ~ získame podľa tohto vzťahu na výstupe približne 16,2 V čo je dostačujúce. To isté platí aj pre zápornú vetvu. Kondenzátory C1 a C2 sú volené s hodnotou 470  $\mu\text{F}$  na 25V kvôli rozmerom, maximálne vstupné napätie tak podľa vzorca (4.1) môže byť približne 18 V ~. Kondenzátory C5 až C8 a C19 až C22 s hodnotou 100 nF slúžia na filtráciu nežiaducich vysokofrekvenčných zložiek a na blokovanie napájania OZ. Poistka F1 je pomalého typu s hodnotou 0,5A a cháni napájací zdroj a prípravok v prípade poruchy.

Na obrázku 4.4 vidíme schému zapojenia napájacieho zdroja prípravku.



**Obr. 4.4:** Schéma zapojenia napájacieho zdroja prípravku

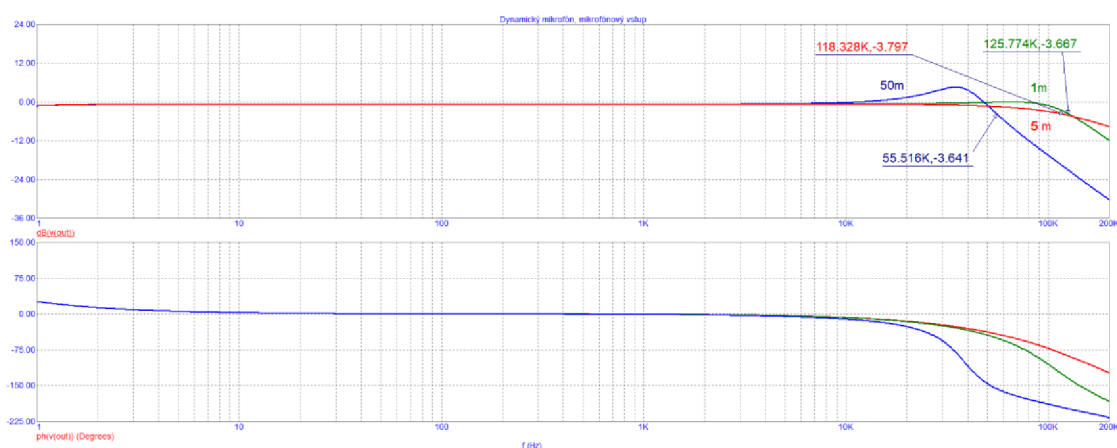
## 4.5 Simulácie zapojení prípravkov

Nasledujúce 4 grafy zobrazujú priebehy lineárneho skreslenia a útlmu v závislosti na frekvencii. Tieto simulácie boli vytvorené s použitím schém zapojení a hodnotami súčiastok uvedených v predošlých kapitolách zaoberajúcich sa návrhom prípravkov a zodpovedajú tak skutočnému zapojeniu hotových funkčných zariadení. Slúžia najmä na následné porovnanie s nameranými hodnotami a tiež na overenie funkčnosti navrhnutých zapojení. Priebehy jednotlivých prenosov sú podobné simuláciám v kapitole 3, majú však mierne odlišné medzné frekvencie a tvar daný použitím o niečo odlišných hodnôt súčiastok a typom zapojenia.

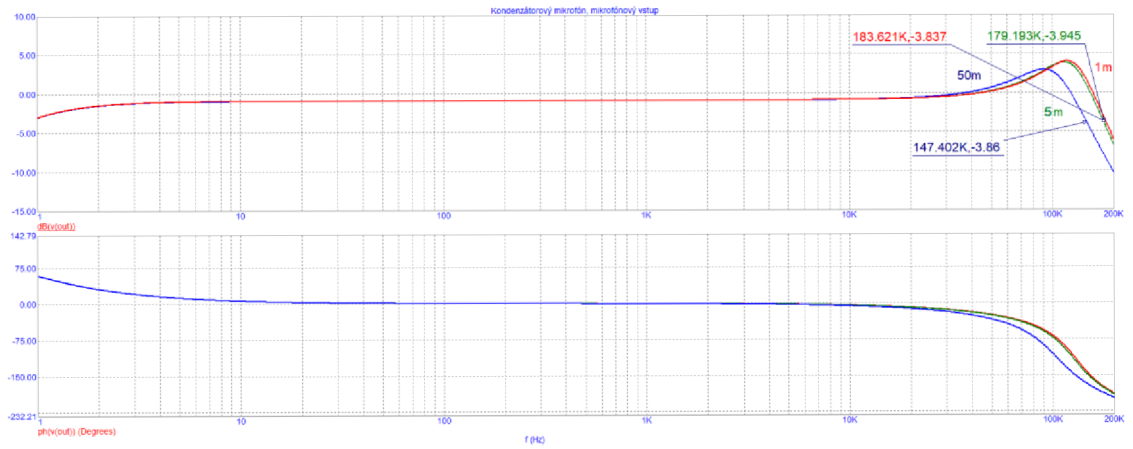
Nasledujúca tabuľka prehľadne zobrazuje frekvencie, pri ktorých jednotlivé priebehy poklesnú približne o 3 dB oproti lineárnemu pásmu prenosu. V prípade linkového výstupu nedôjde k takémuto poklesu v rámci meraného pásma do 200 kHz nikdy, je preto uvedená hodnota poklesu pri frekvencii 100 kHz.

Tab. 4.1: Porovnanie nasimulovaných frekvencií pri poklese prenosu o 3 dB

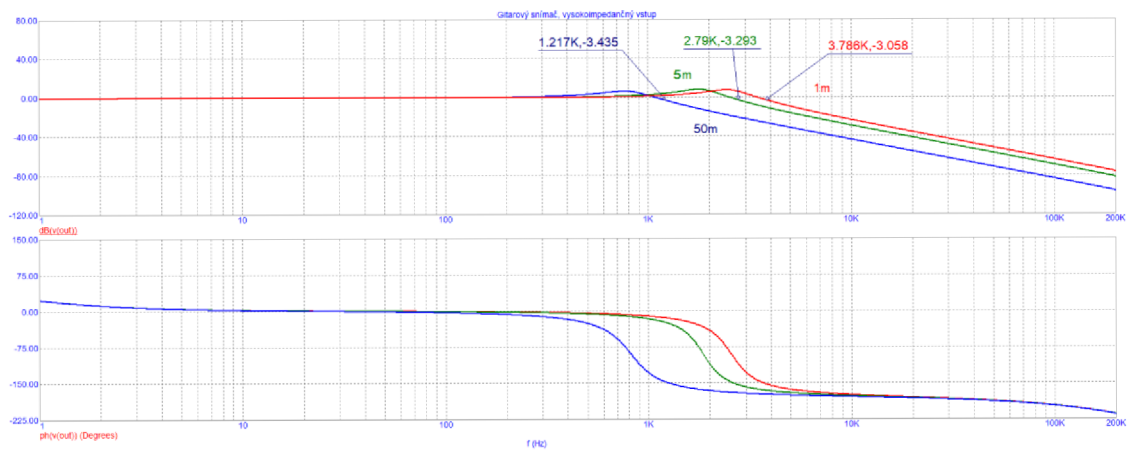
Typ zapojenia	Dĺžka kábla		
	1m	5m	50m
Dynamický mikrofón	125,774 kHz	118,328 kHz	55,516 kHz
Kondenzátorový mikrofón	183,621 kHz	179,193 kHz	147,402 kHz
Gitarový snímač	3,786 kHz	2,790 kHz	1,217 kHz
Linkový výstup (100 kHz)	-0,263 dB	-0,257 dB	-0,074 dB



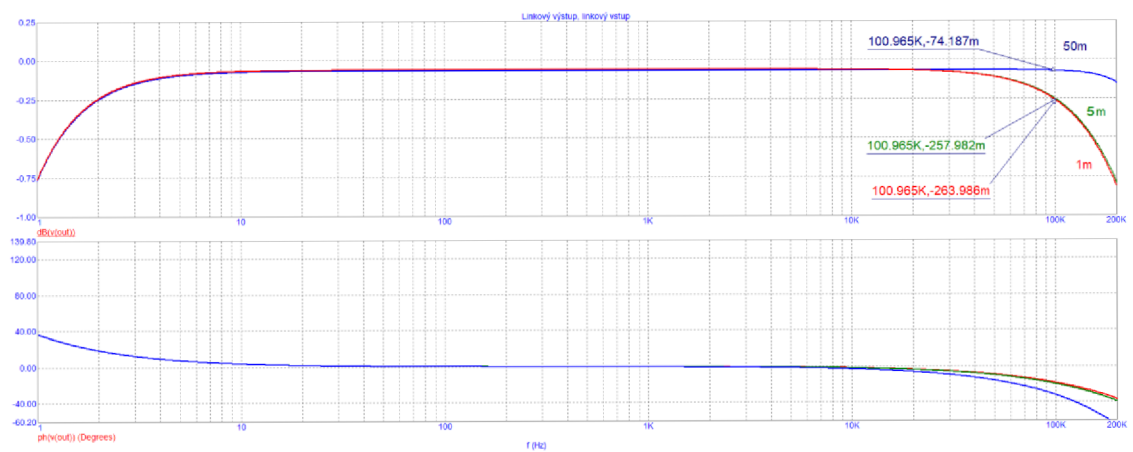
Obr. 4.5: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup



**Obr. 4.6: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup**



**Obr. 4.7 Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup**

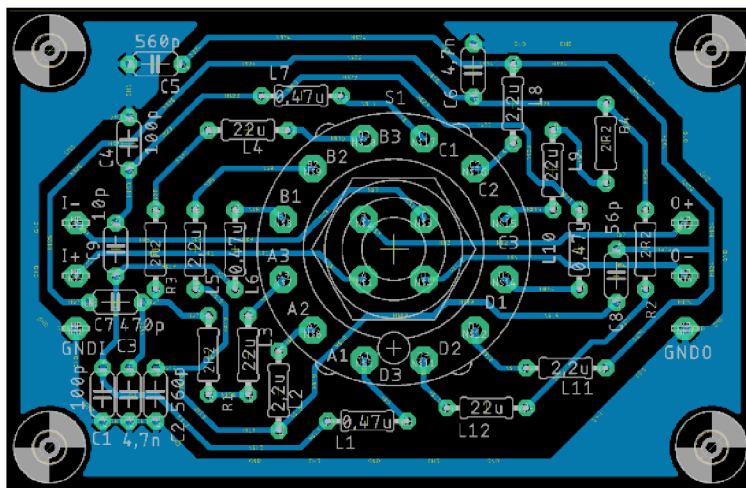


**Obr. 4.8: Graf lineárneho skreslenia simulácie zapojenia linkový výstup – linkový vstup**

## 4.6 Návrh DPS a montáž

Plošné spoje boli navrhnuté v programe EAGLE ako jednostranné s použitím výhradne THT súčiastok kvôli dostupnosti a jednoduchšiemu návrhu.

Plošný spoj káblového simulátora s rozmiestnením a hodnotami súčiastok je možné vidieť na obrázku 4.9. Rozmery dosky sú 71,6 x 46,5 mm a je možné ju zabudovať do konštrukčnej krabičky Z45. Zoznam súčiastok sa nachádza v prílohe C.2. Schéma zodpovedá obrázku 4.1 v kapitole 4.1. Po zostavení a kontrolnom overení funkcie boli na dosku prispájkované prívodné vodiče a obvod bol zabudovaný do krabičky, káble boli vyvedené cez priechodky. Obrázok hotového prípravku je k nahliadnutiu v prílohe D.1.

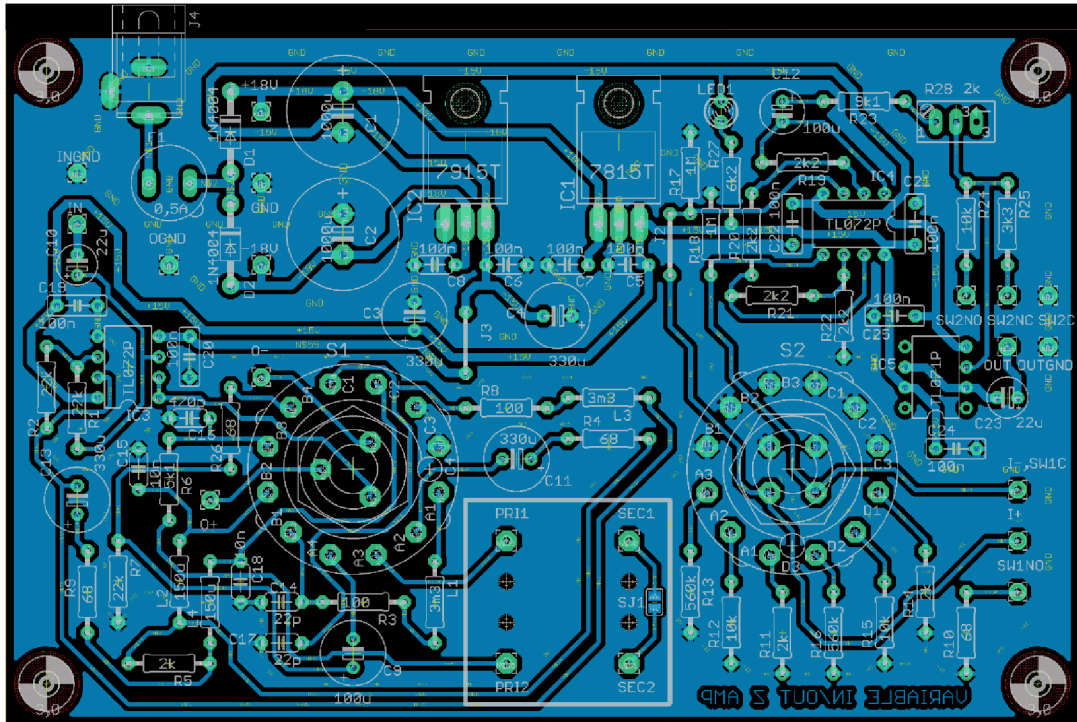


Obr. 4.9: DPS prípravku káblového simulátora

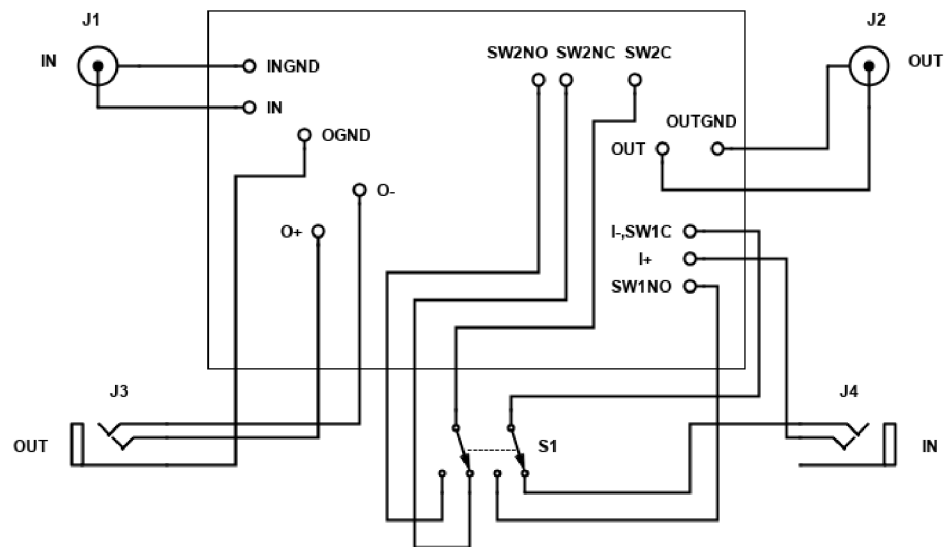
Oba obvody zosilňovačov s nastaviteľnými vstupnými aj výstupnými impedanciami spolu s napájacím zdrojom boli vytvorené na spoločnej doske. Túto je možné vidieť na obrázku 4.10, spolu s rozmiestnením a hodnotami súčiastok. Doska má rozmery 134,1 x 89,5 mm a spolu s konektormi a prepínačom je zamontovaná do krabičky Z33. Pripojenie jednotlivých vstupov, výstupov a prepínača je zobrazené v blokovej schéme na obrázku 4.11. Pre vstup a výstup meracieho signálu boli využité BNC konektory a pre pripojenie simulátora kábla konektory TRS 6,3mm. Zem je pripojená len k výstupnému konektoru z dôvodu, že vstupný aj výstupný zosilňovač majú spoločnú zem už na doske a pripojením kábla s uzemneným tienením na oboch koncoch by vznikla zemná slučka, do ktorej by sa mohli indukovať rušivé signály. Na vrchnom paneli sa ďalej nachádza prepínač symetrického, respektíve nesymetrického režimu S1, LED dióda signalizujúca zapnutie a otvor pre trimmer nastavujúci prenos na 0 dB. Na zadnej strane je pripevnený DC jack napájací konektor. Prípravok vyžaduje napájací zdroj



striedavého napätia 12 až 18V, odber je rádovo v desiatkach mA. Na napájanie je však možné využiť aj laboratórny zdroj pripojený k určeným ploškám na DPS (označenými +18V, -18V a GND). Na priloženom CD je tiež možné nájsť zdrojové súbory v programe EAGLE.



Obr. 4.10: DPS prípravku zosilňovača s nastaviteľnou vstupnou a výstupnou Z



Obr. 4.11: Blokovaná schéma pripojenia prepínača SYM/NESYM a konektorov do DPS

## 5. VÝSLEDKY MERANIA POMOCOU PRÍPRAVKOV

Merania prenosu a lineárneho skreslenia boli vykonané pomocou obvodoého analyzátora Bode 100. Postup merania začína nastavením ovládacieho programu. Bol nastavený rozsah merania od najnižšej možnej frekvencie 10 Hz do 200 kHz. Po vykonaní kalibrácie bol analyzátor pripojený k prípravku pomocou BNC káblov. Samotný prípravok bol napájaný zo symetrického laboratórneho zdroja napätím  $\pm 18V$ . Postupne boli nastavované kombinácie vstupných a výstupných impedancií a rôznych dĺžok prepojovacieho kábla, podobne ako v simuláciách. V prípade merania gitarového snímača a linkového výstupu bol prepínač S1 prepnutý do nesymetrického režimu. Je možné meranie uskutočniť aj v režime symetrickom, avšak výstup bude utlmený o 6 dB kvôli napät'ovému deliču na výstupe. Výsledné namerané charakteristiky môžeme vidieť na obrázkoch 5.1 až 5.13. Tabuľka 5.1 tiež prehľadne zobrazuje frekvencie, pri ktorých jednotlivé priebehy poklesnú približne o 3 dB oproti lineárnemu pásmu prenosu podobne ako v kapitole 4.5, kde boli vykonané teoretické simulácie prenosu. Tým je umožnené jednoduché porovnanie nameraných a nasimulovaných hodnôt.

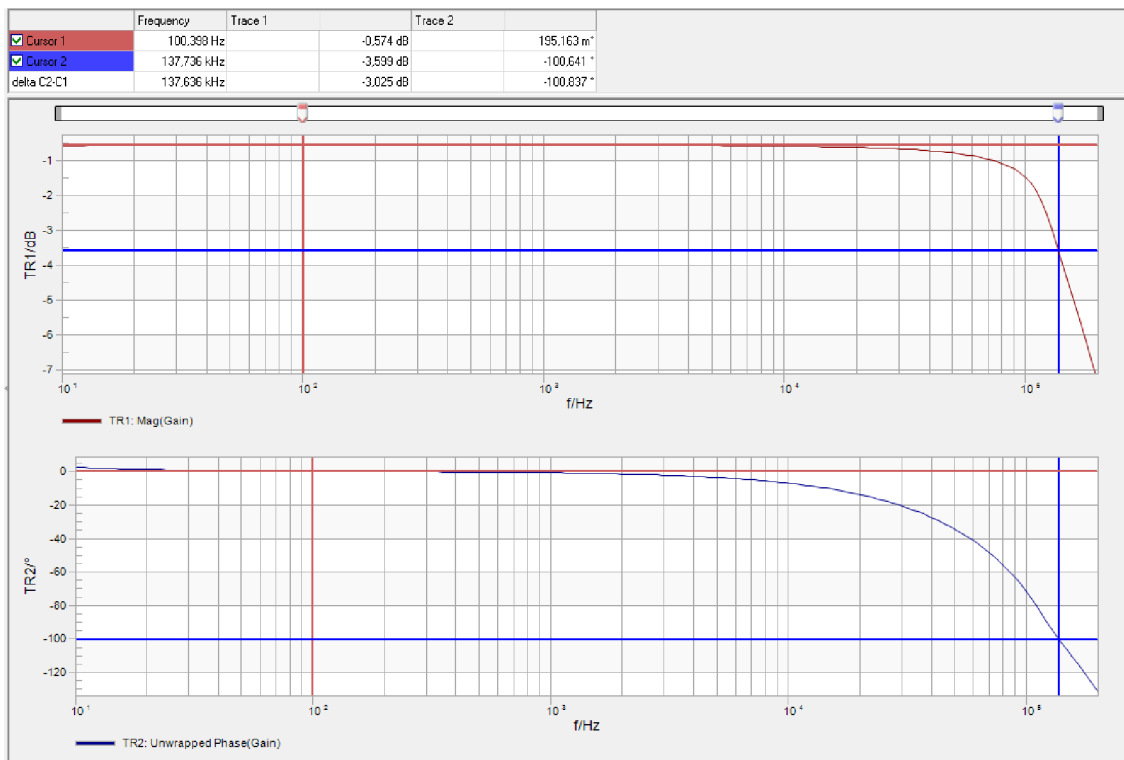
Tab. 5.1: Porovnanie nameraných frekvencií pri poklese prenosu o 3 dB

Typ zapojenia	Dĺžka kábla		
	1m	5m	50m
Dynamický mikrofón	137,736 kHz	126,934 kHz	57,002 kHz
Kondenzátorový mikrofón	181,302 kHz	176,042 kHz	142,918 kHz
Gitarový snímač	3,309 kHz	2,559 kHz	1,094 kHz
Linkový výstup (100 kHz)	-0,107 dB	-0,090 dB	+0,2 dB

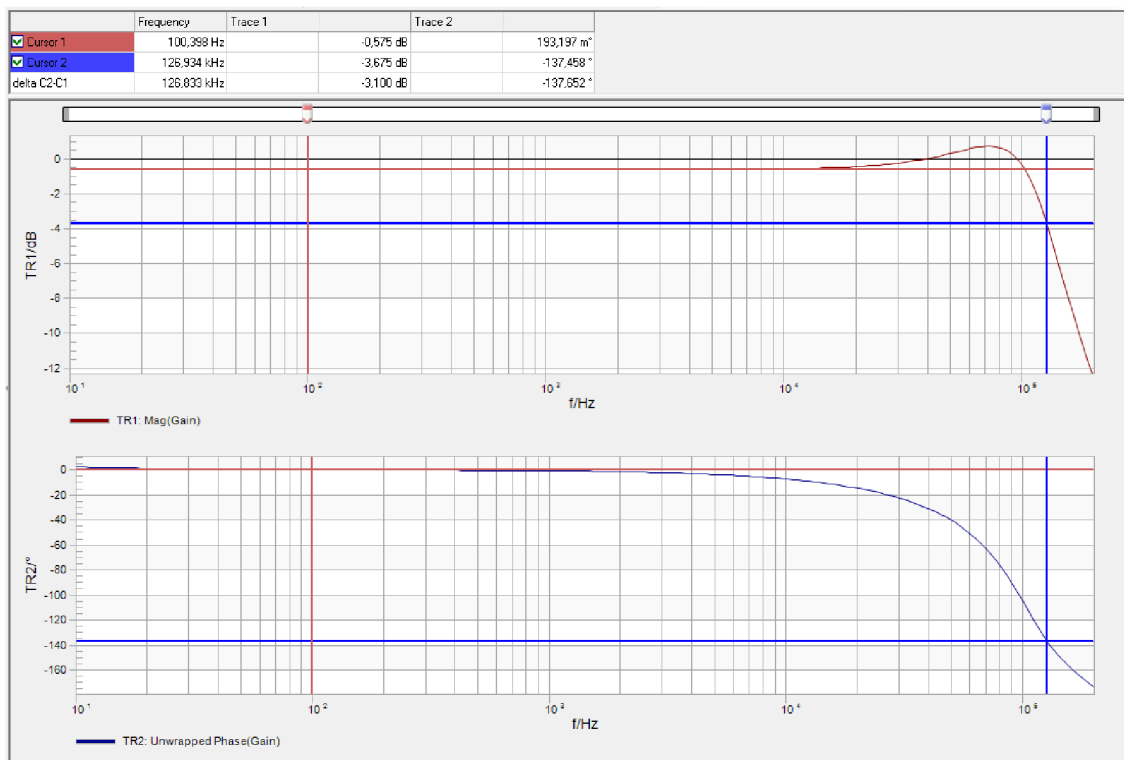
Všetky priebehy približne zodpovedajú simuláciám, rovnako aj hodnoty poklesu o 3 dB. Najväčší rozdiel je badateľný v priebehu lineárneho skreslenia gitarového snímača. Môžeme pozorovať opätovný nárast prenosu na frekvenciách približne od 12 kHz vyššie. Tento jav je spôsobený použitím transformátora ako náhrady indukčnosti cievky snímača a jeho medzizávitovou parazitnou kapacitou. Tiež medzná frekvencia bola o niečo nižšia z dôvodu nelinearity a nepresnosti tohto transformátora.

Prenos 0 dB bol ladiacim trimrom nastavený pri linkovom vstupe a výstupe a s dĺžkou kábla 1m.

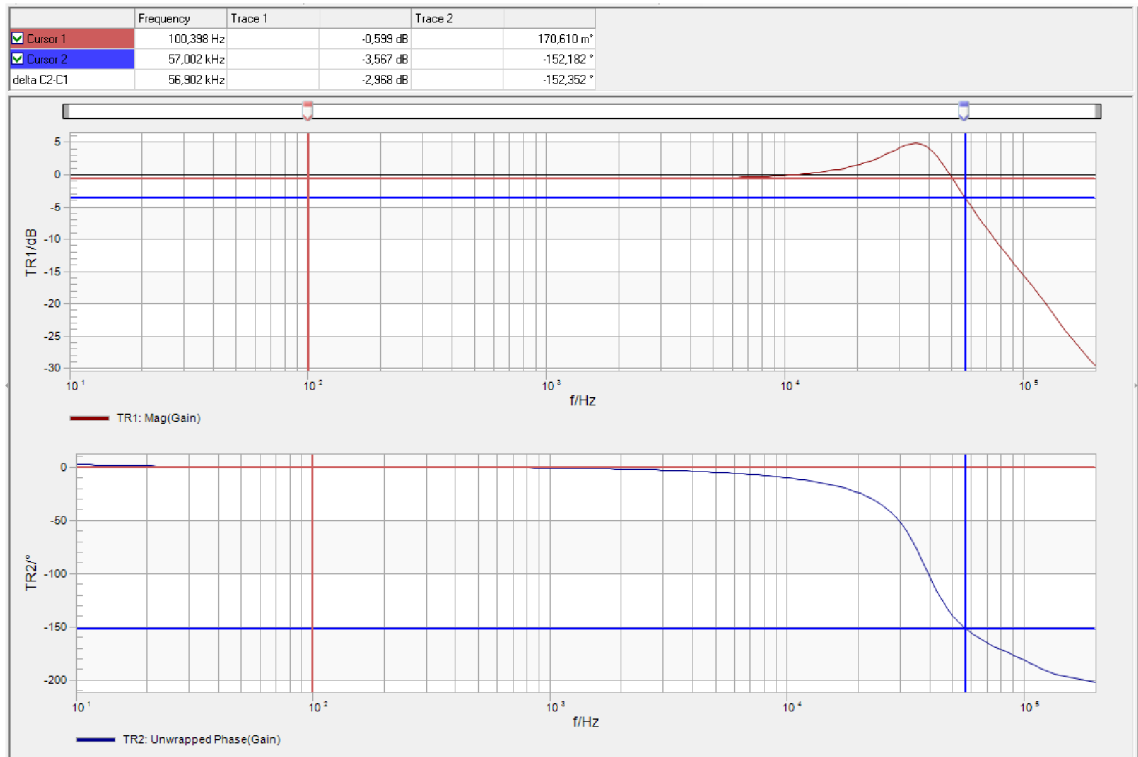




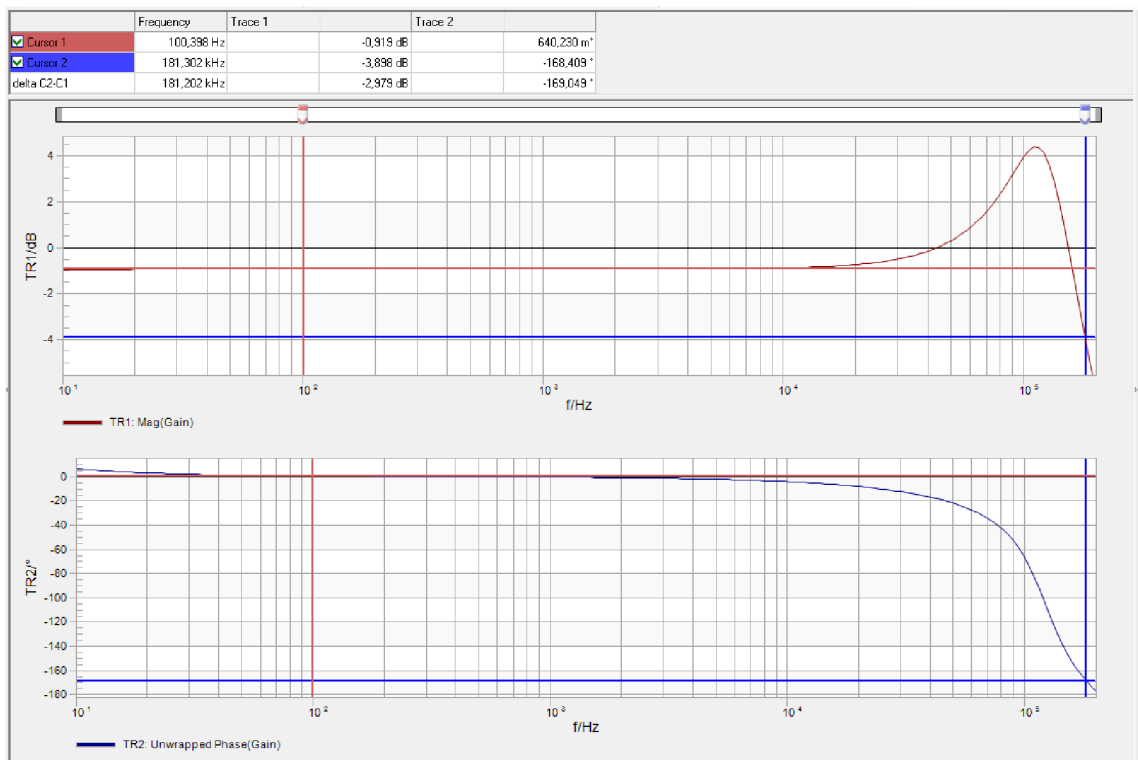
**Obr. 5.1: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 1m**



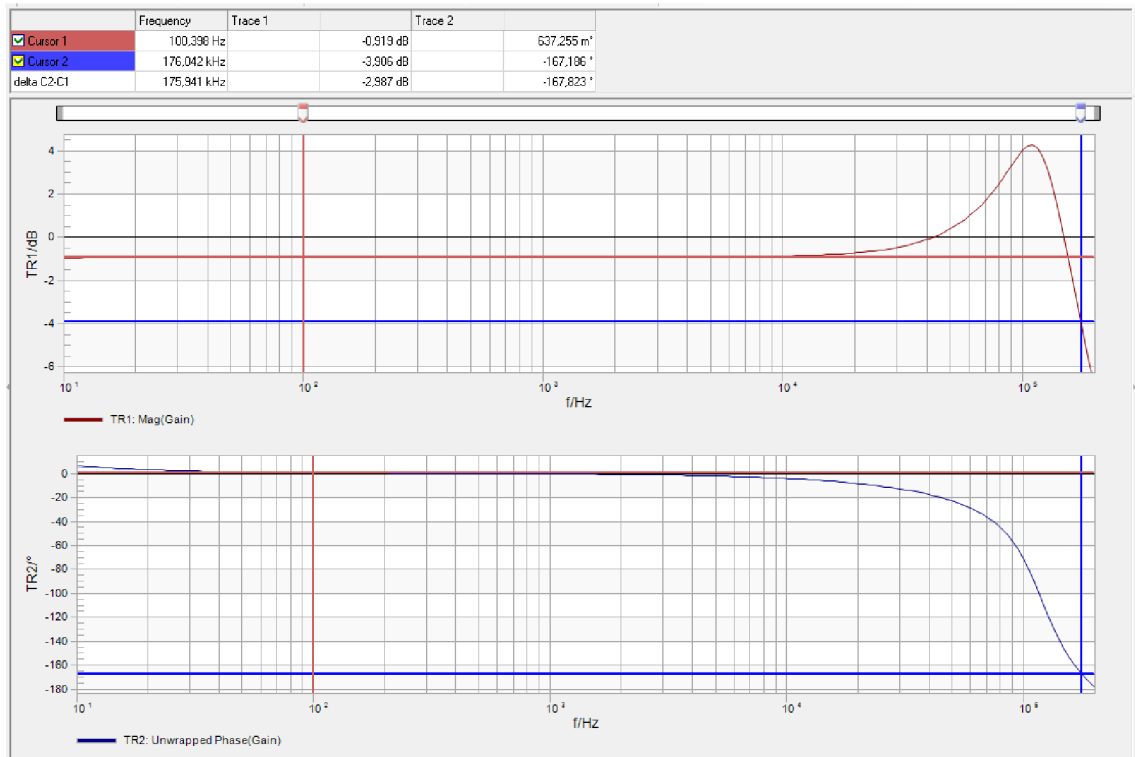
**Obr. 5.2: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 5m**



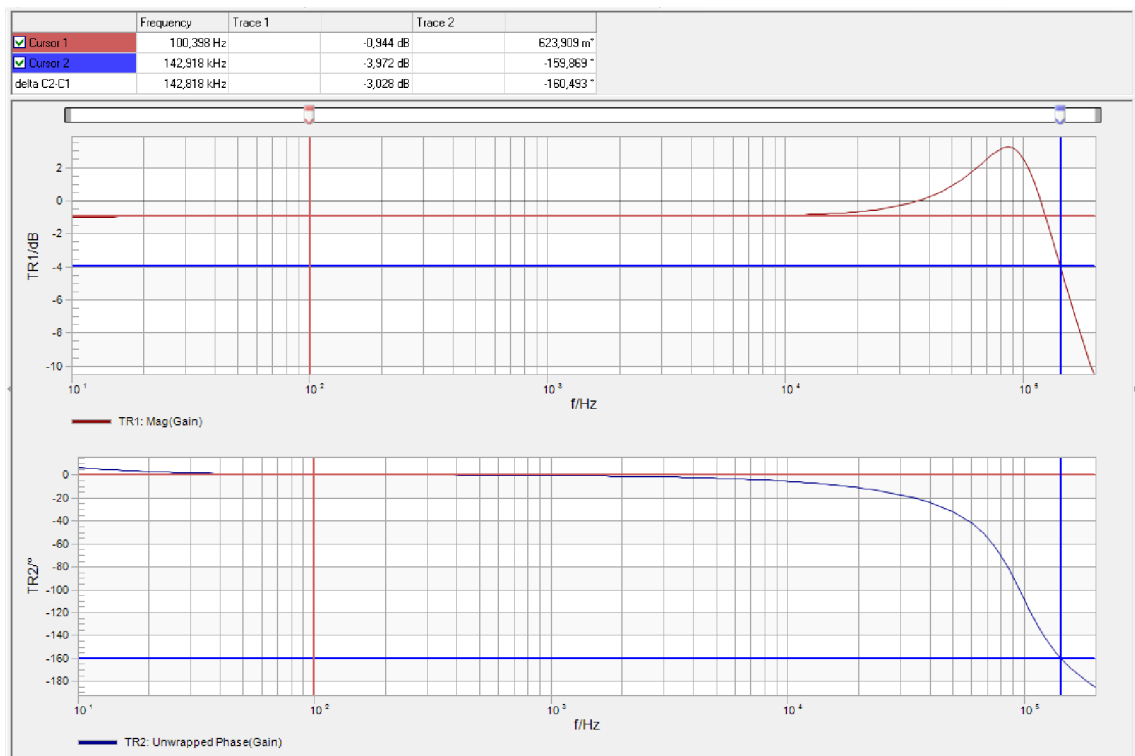
**Obr. 5.3: Graf lineárneho skreslenia zapojenia dynamický mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 50m**



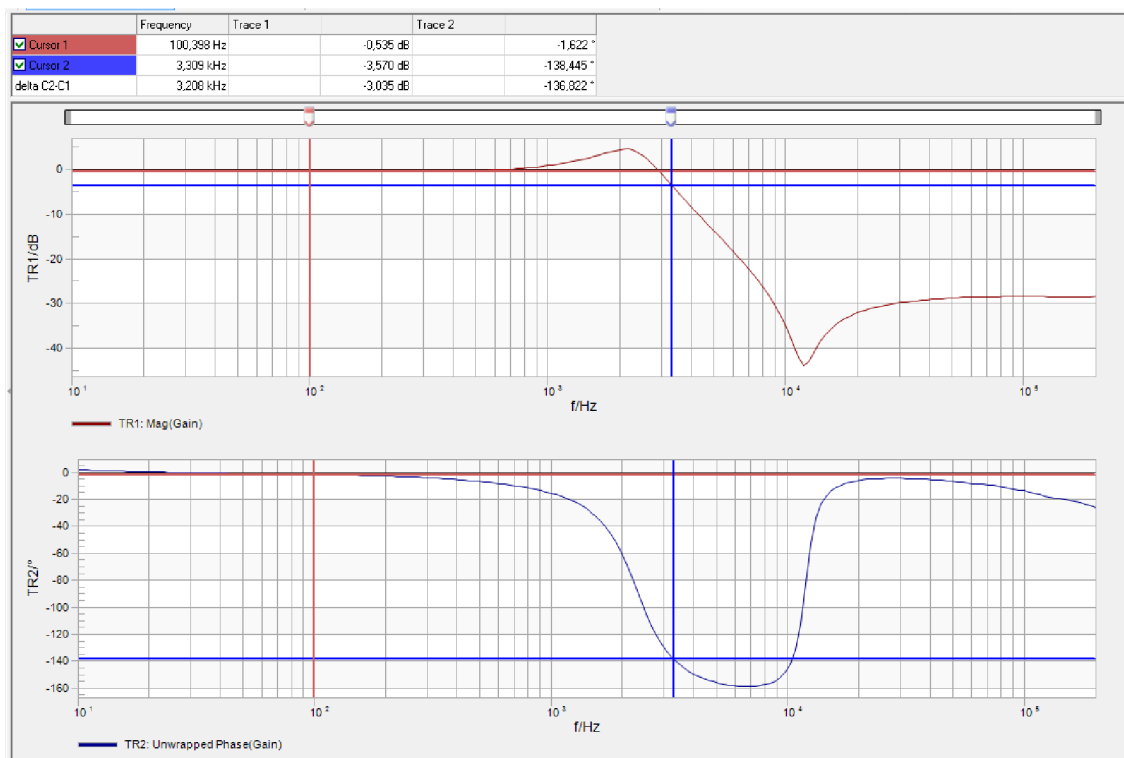
**Obr. 5.4: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 1m**



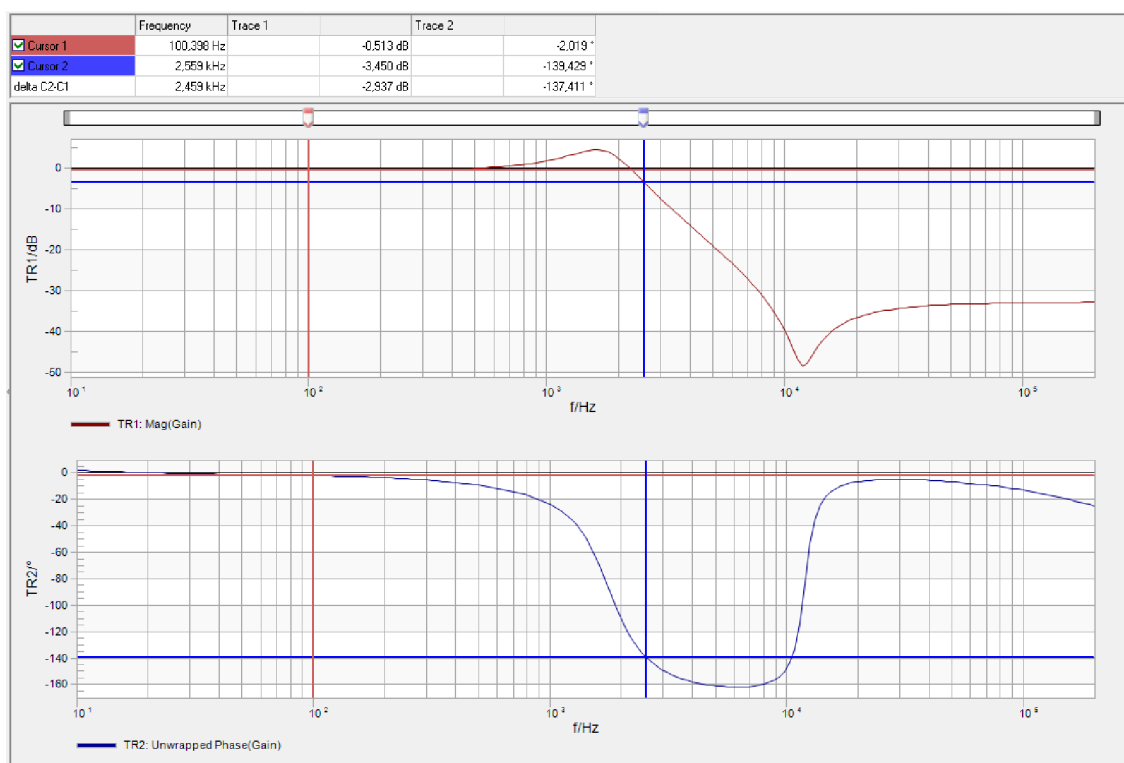
**Obr. 5.5: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 5m**



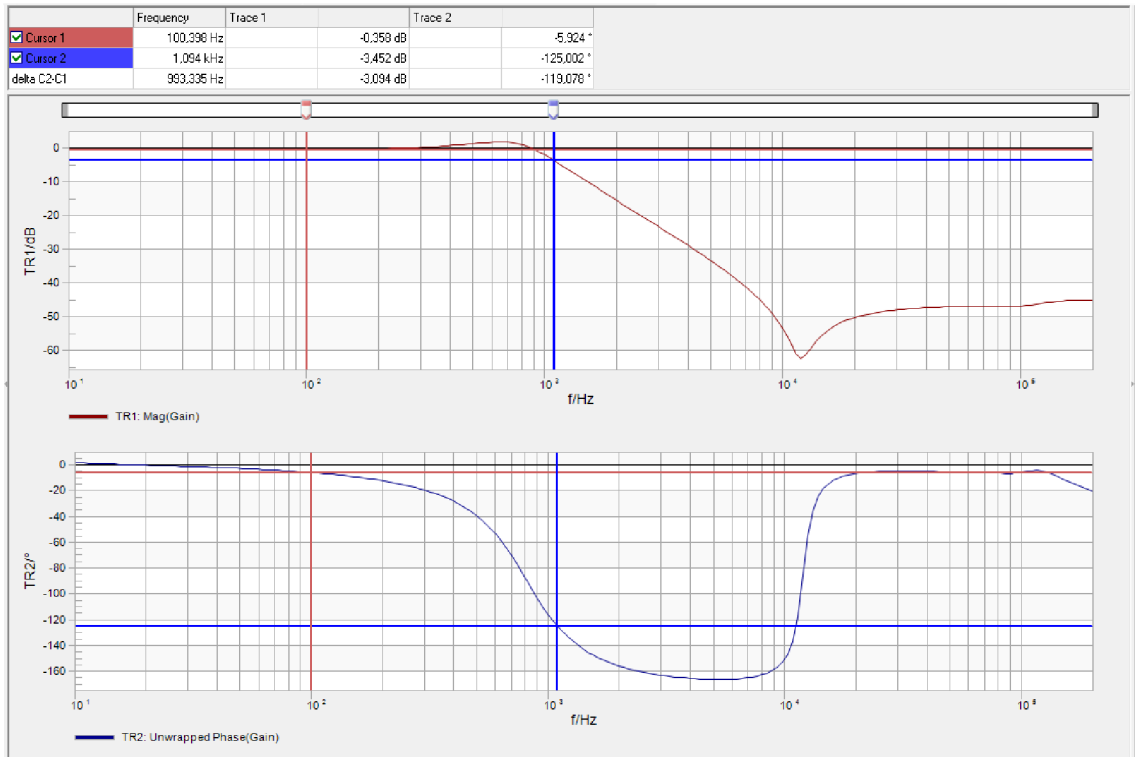
**Obr. 5.6: Graf lineárneho skreslenia zapojenia kondenzátorový mikrofón – mikrofónový vstup, kábel 50m**



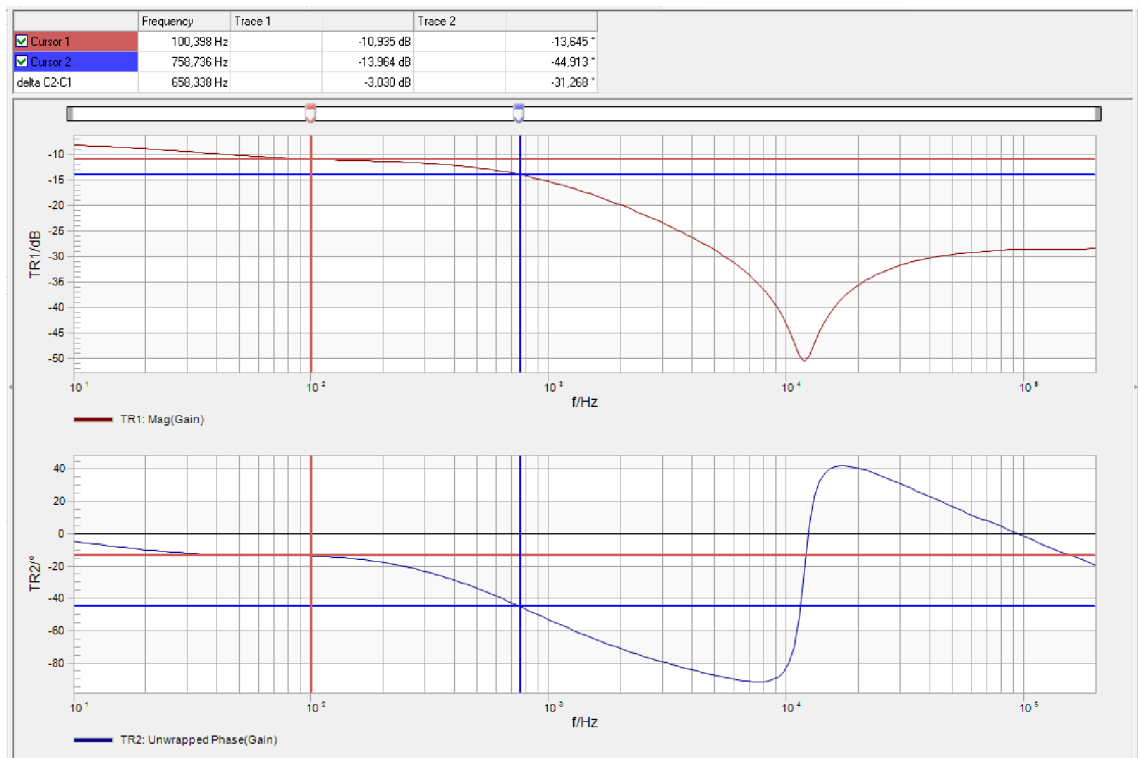
**Obr. 5.7: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 1m**



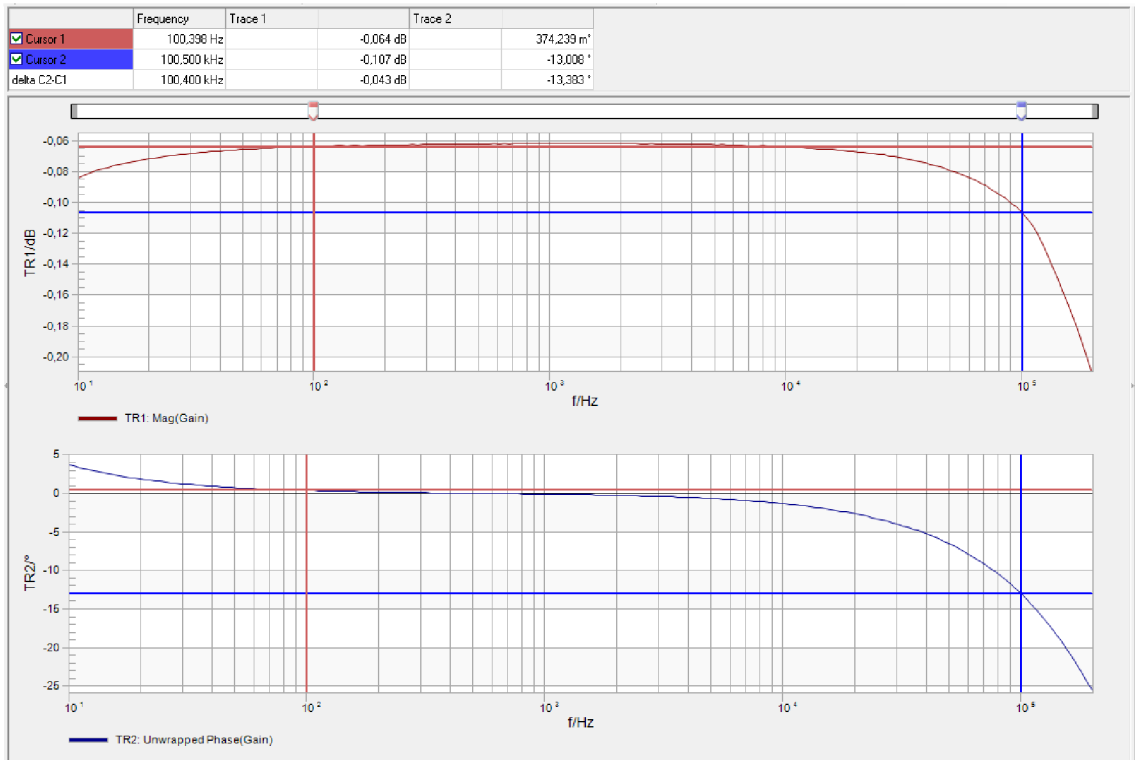
**Obr. 5.8: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 5m**



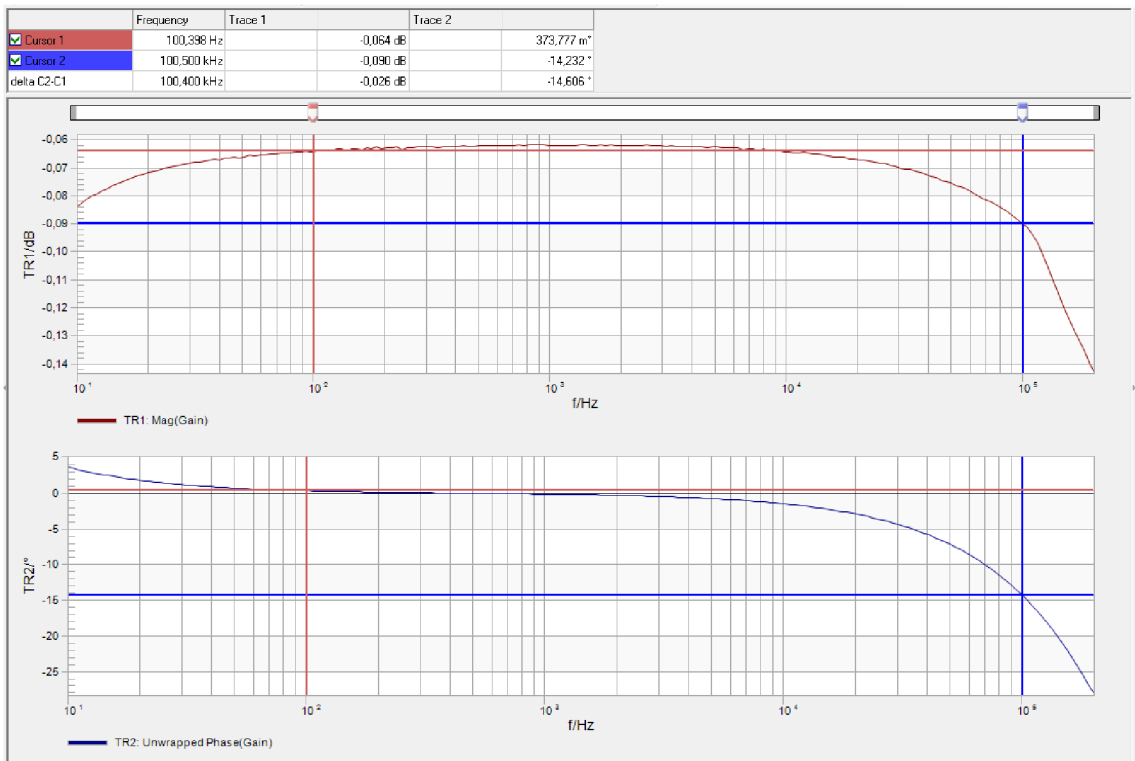
**Obr. 5.9: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – vysokoimpedančný vstup, kábel 50m**



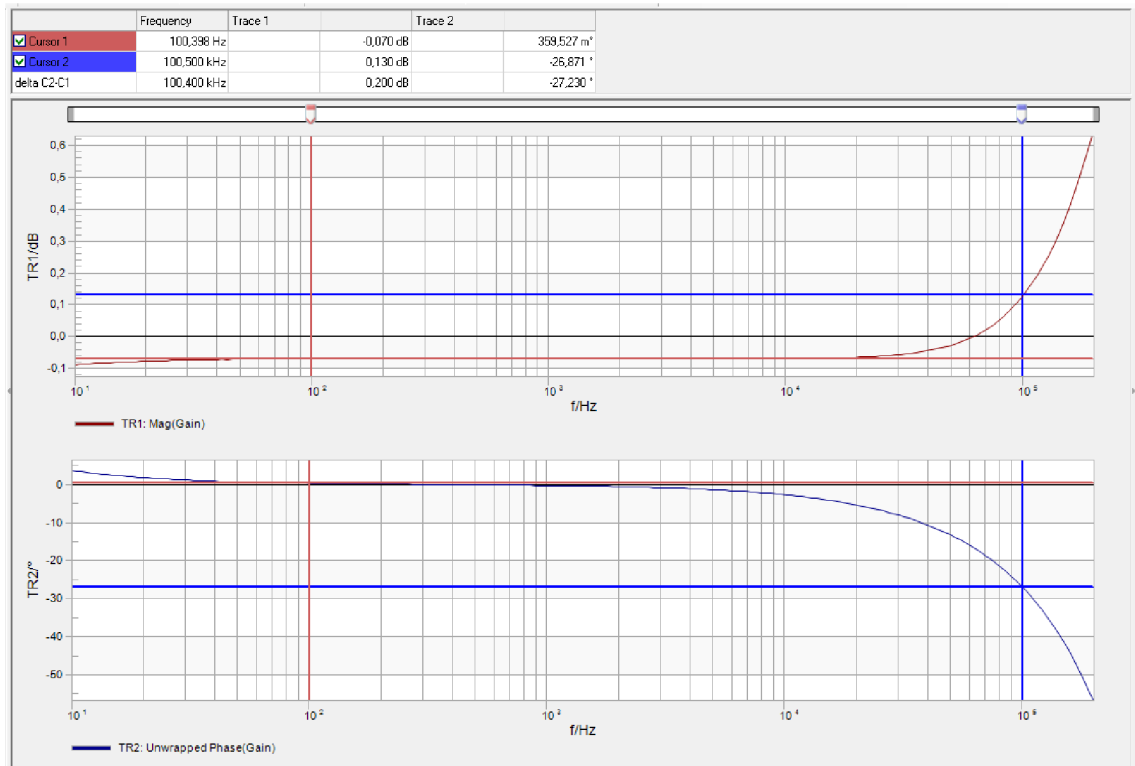
**Obr. 5.10: Graf lineárneho skreslenia zapojenia gitarový snímač – linkový vstup, kábel 1m**



**Obr. 5.11: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 1m**



**Obr. 5.12: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 5m**



**Obr. 5.13: Graf lineárneho skreslenia zapojenia linkový výstup – linkový vstup, kábel 50m**

## 6. ZÁVER

Práca prehodnocovala parametre káblov používaných v audio technike a ich vplyv na prenos zvukového signálu medzi rôznymi druhmi zdrojov zvuku a zariadeniami, ktoré ho spracovávajú. Popísala základnú teóriu prenosu zvukového signálu, lineárneho skreslenia a útlmu. Boli tiež predstavené typy zvukových zariadení používaných v praxi a popísané ich vlastnosti z hľadiska impedancií, parazitných javov a ich vplyvu na prenos signálu. Kapitola 2.2.1 tiež ponúkla prehľad niektorých parametrov audiokáblov z katalógov rôznych firiem. Hlavná časť práce spočívala v simuláciách lineárneho skreslenia signálu pri rôznych kombináciách zdrojov zvuku, prijímačov tohto signálu a taktiež s ohľadom na dĺžku a typ prepojovacieho kábla medzi nimi. Výsledky simulácií dokazujú nemalý vplyv týchto vodičov a ich dĺžky na prenos signálu. Najväčší vplyv na frekvenčnú charakteristiku bol viditeľný pri gitarovom snímači, kde kábel s väčšou dĺžkou a tým aj vyššou parazitnou kapacitou potlačoval signál o 3 dB už pri frekvenciách okolo 1 až 3 kHz.

Práca ďalej predstavila návrh a konštrukciu prípravkov na meranie lineárneho skreslenia v závislosti od parazitných vlastností komponentov v prenosovom reťazci a dĺžky prepojovacích káblov. Bol zhotovený prípravok so zosilňovačmi s prepínateľnou vstupnou a výstupnou impedanciou a krátky prepojovací kábel s obvody napodobňujúcimi parametre vodičov s tromi rôznymi dĺžkami. Pomocou týchto prípravkov sa vykonalo meranie prenosu a lineárneho skreslenia s použitím analyzátoru Bode 100 a vykreslené grafy boli popísané a porovnané so simulovanými hodnotami. Vo všetkých prípadoch sa simulácie s meraniami takmer zhodovali, odchýlky boli spôsobené hlavne nepresnosťami a toleranciami použitých súčiastok, ako aj neuvažovanými parazitnými vlastnosťami DPS, konektorov a káblov prepojujúcich jednotlivé komponenty.

Navrhnuté a zhotovené prípravky sa dajú použiť napríklad ako základ budúcej laboratórnej úlohy alebo po pripojení ľubovoľných prepojovacích káblov tiež na zmeranie ich vlastností a vplyvu na zvukový signál.



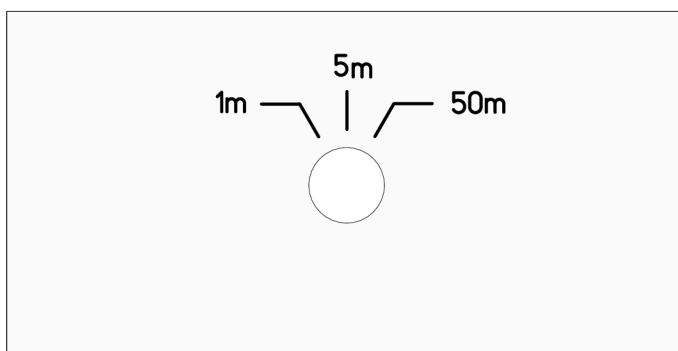
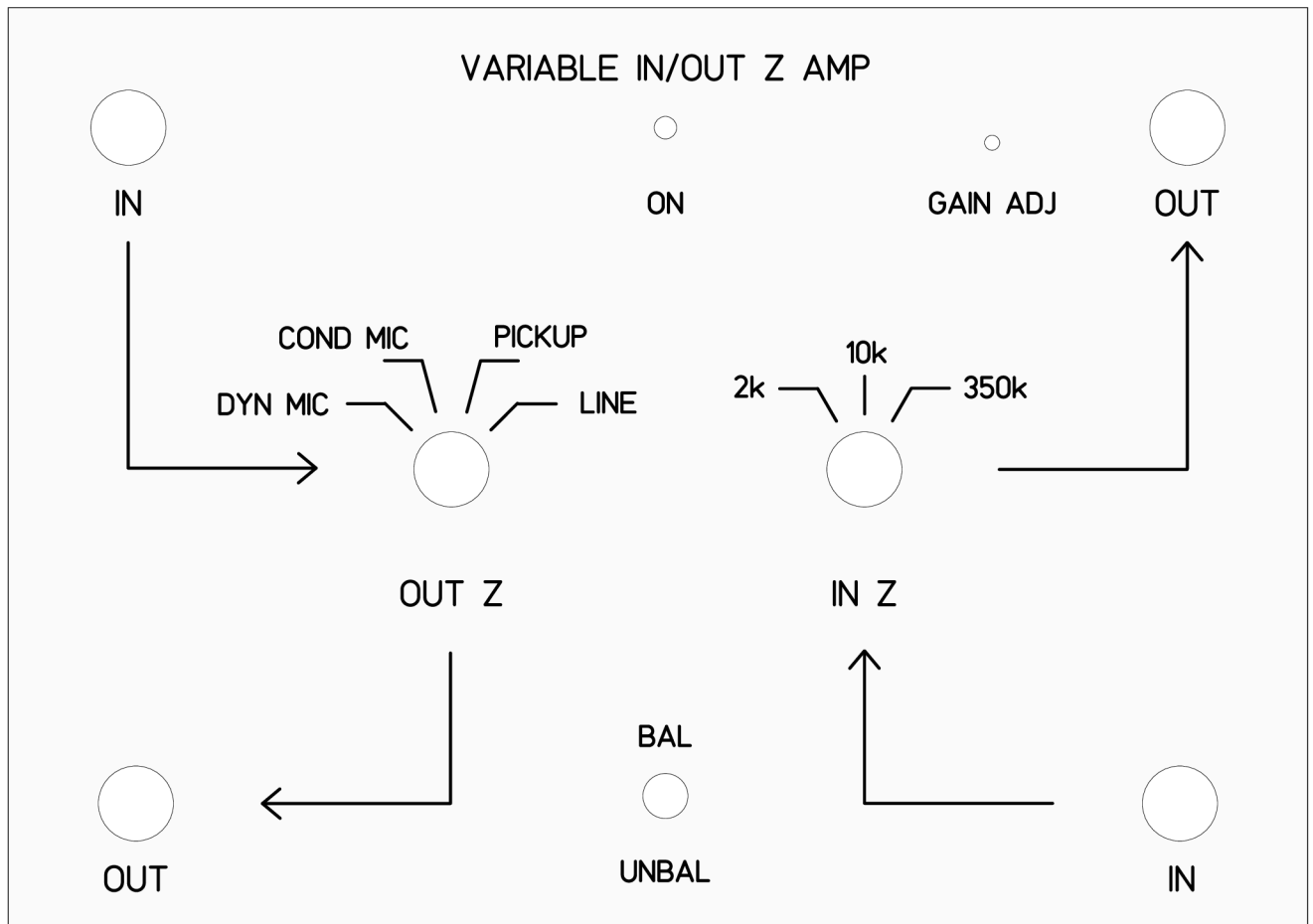
# Literatúra

- [1] SELF, Douglas. *Small signal audio design*. Burlington, MA: Focal Press, c2010. ISBN 978-0-240-52177-0.
- [2] PUNČOCHÁŘ, Josef. *Operační zesilovače v elektronice*. 5. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 80-7300-059-8.
- [3] BALLOU, Glen. *Handbook for sound engineers*. 4th ed. Boston: Focal Press, c2008. ISBN 978-0-240-80969-4.
- [4] ROD, Elliott. Microphone Signal Splitters For Live Sound & Recording [online]. [cit 2020-06-01]. Dostupné z: <https://sound-au.com/articles/mic-splitting.htm>
- [5] AlphaWire Customer SpecificationPART NO. 1703 [online]. [cit 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/44a4a965db53d0f89aba67385b03929d/1703.pdf>
- [6] POOLE, Ian. Electronics Notes [online]. [cit 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.electronics-notes.com/articles/audio-video/microphones/moving-coil-dynamic-microphone.php>
- [7] BOHN, Dennis. Audio Specifications. Rane Corporation, RaneNote 145, 2000. [online]. [cit 2019-12-20]. Dostupné z: [https://www.ranecommercial.com/kb\\_article.php?article=2121](https://www.ranecommercial.com/kb_article.php?article=2121)
- [8] POOLE, Ian. Electronics Notes [online]. [cit 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.electronics-notes.com/articles/audio-video/microphones/condenser-capacitor-microphone.php>
- [9] BLATTENBERGER, Kirt. RF CAFE [online]. [cit 2020-06-01]. Dostupné z: <http://www.rfcafe.com/references/electrical/coax.htm>
- [10] Texas instruments, „TL07xx Low – Noise JFET-Input Operational Amplifiers“ datasheet, Sept. 1978 [revised Jul. 2017]. [online]. [cit 2019-12-20]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/slos080n/slos080n.pdf?ts=1591058380950>

## Zoznam príloh

A	ŠTÍTKY S POPISMI KONEKTOROV A OVLÁDACÍCH PRVKOV LABORATÓRNYCH PRÍPRAVKOV V MIERKE 1:1 .....	54
B	KOMPLETNÁ SCHÉMA ZAPOJENIA PRÍPRAVKU SO ZOSILŇOVAČMI .....	55
C	ZOZNAM POUŽITÝCH SÚČIASTOK.....	56
C.1	Výstupný a vstupný zosilňovač.....	56
C.2	Simulátor dĺžky kábla .....	58
D	FOTOGRAFIE HOTOVÝCH PRÍPRAVKOV .....	59
D.1	Simulátor dĺžky kábla .....	59
D.2	Výstupný a vstupný zosilňovač, zhora.....	59
D.3	Výstupný a vstupný zosilňovač, zdola.....	60
D.4	Meranie útlmu a lineárneho skreslenia .....	60
E	CD S ELEKTRONICKOU VERZIOU PRÁCE, EAGLE SÚBORMI A ZVUKOVÝMI UKÁŽKAMI .....	61

# A ŠTÍTKY S POPISMI KONEKTOROV A OVLÁDACÍCH PRVKOV LABORATÓRNYCH PRÍPRAVKOV V MIERKE 1:1



AC 12-18V ~



# C ZOZNAM POUŽITÝCH SÚČIASTOK

## C.1 Výstupný a vstupný zosilňovač

Part	Value	Device	Package	Description
C1	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C2	1000u	CPOL-EUE5-13	E5-13	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C3	330u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C4	330u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C5	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C6	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C7	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C8	100n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C9	100u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C10	22u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C11	330u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C12	100u	CPOL-EUE2.5-6	E2,5-6	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C13	330u	CPOL-EUE3.5-8	E3,5-8	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C14	22p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C15	10n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C16	470p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C17	22p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C18	10n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C19	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
C20	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
C21	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
C22	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
C23	22u	CPOL-EUE2.5-5	E2,5-5	POLARIZED CAPACITOR, European symbol
C24	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
C25	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	CAPACITOR, European symbol
D1	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE
D2	1N4004	1N4004	DO41-10	DIODE
F1	0,5A	19560	19560	FUSE HOLDER
IC1	7815T	7815T	TO220H	Positive VOLTAGE REGULATOR
IC2	7915T	7915T	TO220H	Negative VOLTAGE REGULATOR
IC3	TL072P	TL072P	DIL08	OP AMP
IC4	TL072P	TL072P	DIL08	OP AMP
IC5	TL071P	TL071P	DIL08	OP AMP
J2	J7MM	J7MM	7	Bridge
J3	J7MM	J7MM	7	Bridge
J4		JACK-PLUG1	SPC4078	DC POWER JACK
L1	3m3	L-EU0207/10	0207/10	INDUCTOR, European symbol
L2	150u	L-EU0207/10	0207/10	INDUCTOR, European symbol

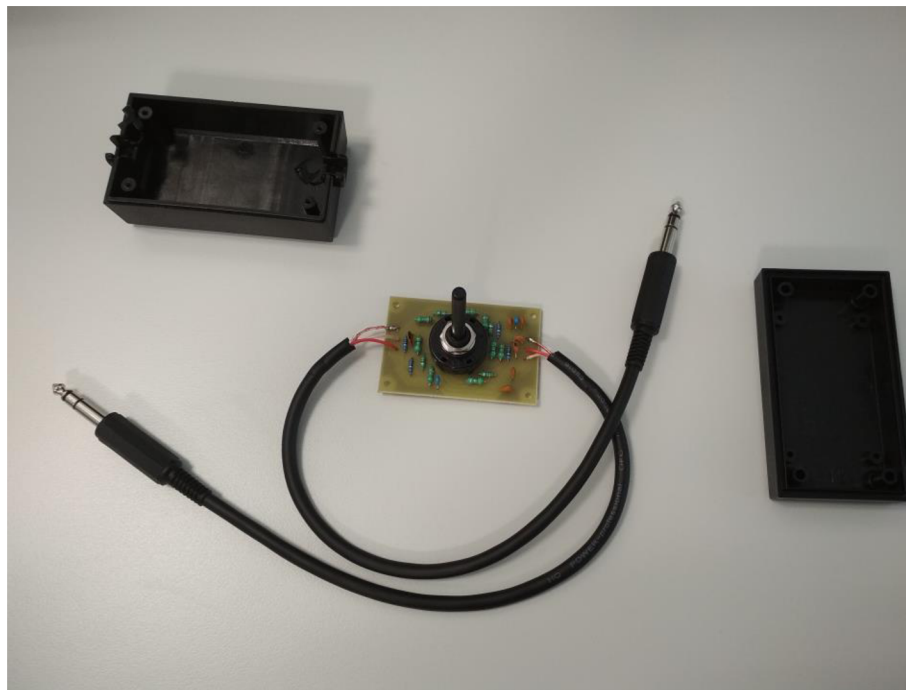
L3	3m3	L-EU0207/10	0207/10	INDUCTOR, European symbol
L4	150u	L-EU0207/10	0207/10	INDUCTOR, European symbol
LED1	green	LED3MM	LED3MM	LED
R1	22k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R2	22k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R3	100	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R4	68	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R5	2k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R6	5k1	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R7	22k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R8	100	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R9	68	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R10	68	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R11	2k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R12	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R13	560k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R14	2k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R15	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R16	560k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R17	1M	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R18	1M	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R19	2k2	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R20	2k2	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R21	2k2	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R22	2k2	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R23	9k1	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R24	10k	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R25	3k3	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R26	68	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R27	6k2	R-EU_0207/10	0207/10	RESISTOR, European symbol
R28	2k	TRIM_EU-S64W	S64W	POTENTIOMETER
S1		CK103X04	CK103X04	ROTARY SWITCH
S2		CK104X03	CK104X03	ROTARY SWITCH
Konektor JACK 6,3 ZP SW				2x
Konektor BNC-Z PAN 50R LC				2x
Knoflík KA485-4				2x
Krabíčka Z33				1x
Páčkový spínač MTS-202-A2				1x
EI transformátor do DPS BV 201 0145 (1x12V)				1x

## C.2 Simulátor délky kábla

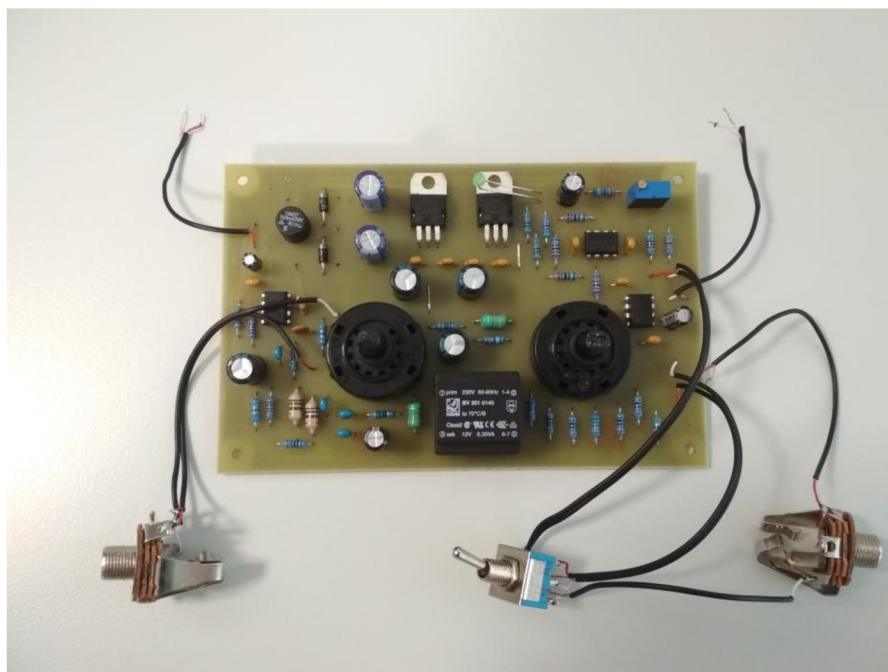
Part	Value	Device	Package	Description
C1	100p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C2	560p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C3	4,7n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C4	100p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C5	560p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C6	4,7n	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C7	470p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C8	56p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
C9	10p	C-EU050-024X044	C050-024X044	CAPACITOR, European symbol
L1	0,47u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L2	2,2u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L3	22u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L4	22u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L5	2,2u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L6	0,47u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L7	0,47u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L8	2,2u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L9	22u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L10	0,47u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L11	2,2u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
L12	22u	L-EU0204/7	0204/7	INDUCTOR, European symbol
R1	2R2	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR, European symbol
R2	2R2	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR, European symbol
R3	2R2	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR, European symbol
R4	2R2	R-EU_0204/7	0204/7	RESISTOR, European symbol
S1		CK104X03	CK104X03	ROTARY SWITCH
Knoflík KA485-4				1x
Konektor JACK 6,3 VK K303F				2x
Mikrofonní kabel 2 x 0,34mm <sup>2</sup> MIC206BK				0,5m
Kabelová průchodka SR-5R1				2x
Krabíčka Z45				1x

## D FOTOGRAFIE HOTOVÝCH PRÍPRAVKOV

### D.1 Simulátor dĺžky kábla

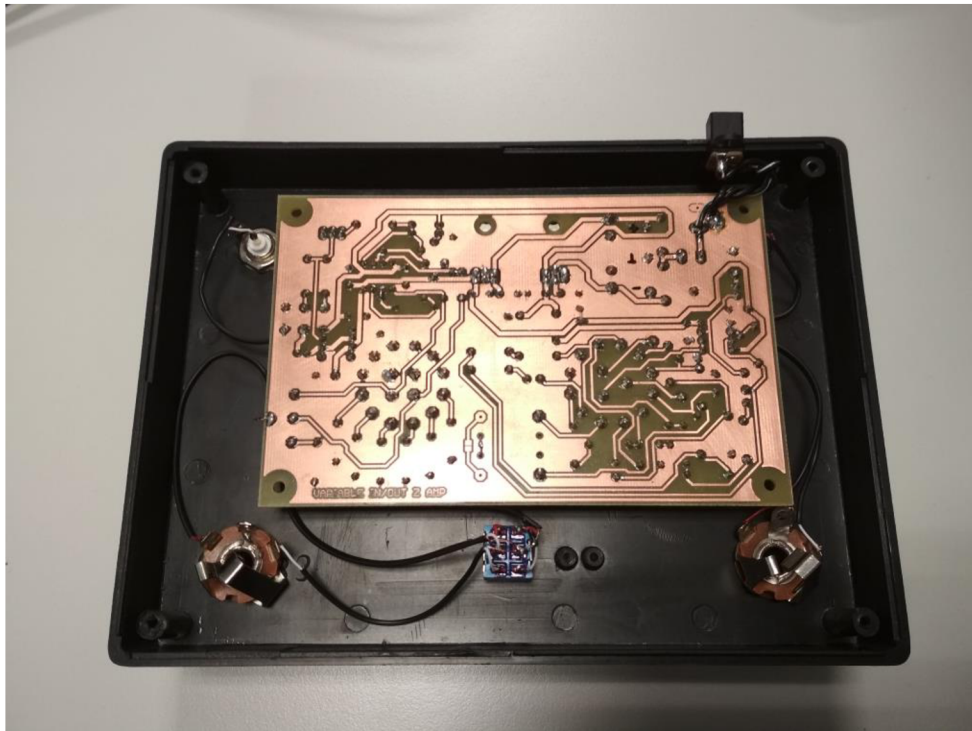


### D.2 Výstupný a vstupný zosilňovač, zhora

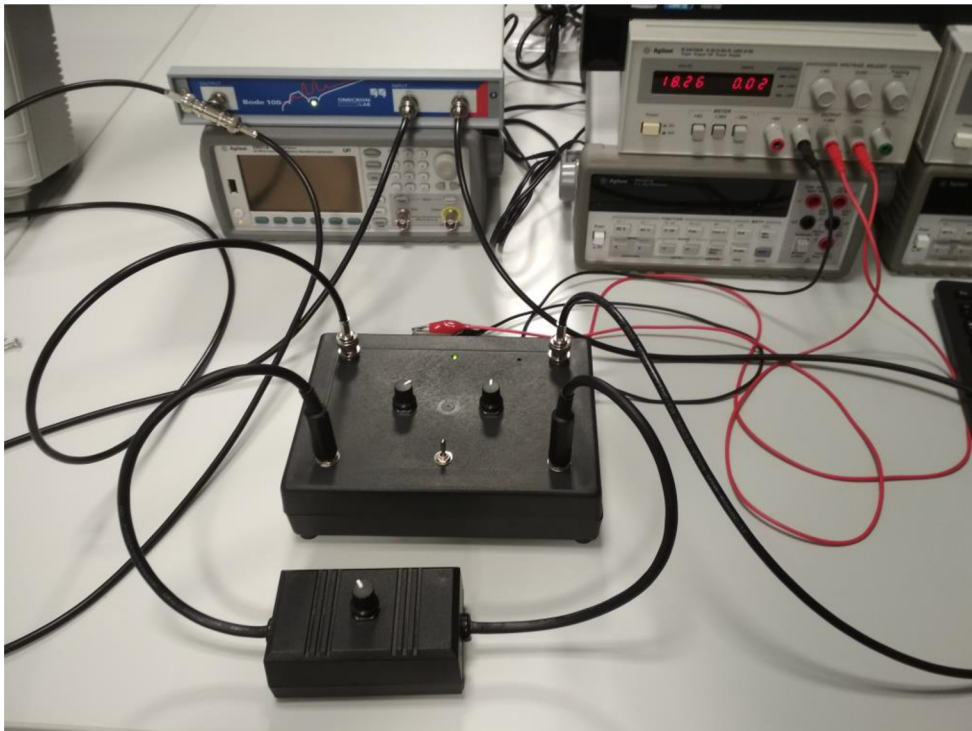




### D.3 Výstupný a vstupný zosilňovač, zdola



### D.4 Meranie útlmu a lineárneho skreslenia



**E CD S ELEKTRONICKOU VERZIOU  
PRÁCE, EAGLE SÚBORMI A  
ZVUKOVÝMI UKÁŽKAMI**