

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

# **BAKALÁŘSKÁ Práce**

**Mikrofonní předzesilovač pro headset**

**vedoucí práce: Ing. Martin Sýkora  
autor: Jan Hlavnička**

**2011**



## **Anotace**

*Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh obvodového řešení předzesilovače a zdroje napětí mikrofonní kapsle.*

## **Klíčová slova**

*headset, mikrofonní předzesilovač, napájecí zdroj*

▪

▪

▪

## **Abstract**

*The presented bachelor thesis “Headset microphone pre-amplifier” focuses on the design of the preamplifier circuitry and the power supply for the microphone capsule.*

## **Key words**

*headset-condenser-microphone, microphone preamplifier, power supply*

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 1.6.2011

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Sýkorovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>2 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>1 NÁHLAVNÍ MIKROFON - HEADSET</b> .....	<b>9</b>
1.1 ELEKTRETOVÝ MIKROFON – PRINCIP.....	9
1.2 ELEKTRETOVÁ MIKROFONNÍ VLOŽKA.....	10
1.3 PRŮZKUM TRHU NÁHLAVNÍCH MIKROFONŮ.....	11
<b>2 KONCEPCE PŘEDZESILOVAČE</b> .....	<b>11</b>
2.1 ZDROJ.....	12
2.2 DC/DC MĚNIČ 9/35 [V].....	12
2.3 NAPÁJENÍ MIKROFONNÍ VLOŽKY.....	13
2.4 MIKROFONNÍ PŘEDZESILOVAČ.....	14
2.5 SYMETRICKÝ LINKOVÝ BUDIČ.....	16
<b>3 NÁVRH PŘEDZESILOVAČE</b> .....	<b>17</b>
3.1 DC/DC MĚNIČ.....	17
3.2 NAPÁJENÍ MIKROFONNÍ VLOŽKY.....	19
3.3 MIKROFONNÍ PŘEDZESILOVAČ.....	21
3.4 LINKOVÝ SYMETRICKÝ BUDIČ.....	25
<b>4 REALIZACE A MĚŘENÍ</b> .....	<b>26</b>
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>28</b>
<b>6 POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>29</b>
<b>7 PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>
PŘÍLOHA A – SCHÉMA PŘEDZESILOVAČE.....	1
PŘÍLOHA B – SCHÉMA DC/DC MĚNIČE.....	2
PŘÍLOHA C – NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ PŘEDZESILOVAČE.....	3
PŘÍLOHA D – ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DESCE PLOŠNÝCH SPOJŮ PŘEDZESILOVAČE.....	4
PŘÍLOHA E – NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ DC/DC MĚNIČE.....	5
PŘÍLOHA F – ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DESCE PLOŠNÝCH SPOJŮ DC/DC MĚNIČE .....	6

# **1 Úvod**

Cílem předkládané práce je vytvořit univerzální zařízení schopné jak napájet mikrofonní kapsle různých typů, tak i zesílit jejich výstupní signál do velikosti vhodné pro přenos do jiných zařízení.

V kapitole „1 Náhlavní mikrofon“ Vás blíže seznámím s konstrukcí náhlavního mikrofonu, principem elektretové mikrofonní kapsle a se stěžejními parametry dostupných headsetů.

V kapitole „2 Koncepce předzesilovače“ jsem určil požadavky na jednotlivé funkční bloky celého zařízení předzesilovače a zvolil základní součástky pro realizaci.

Kapitola „3 Návrh předzesilovače“ se zabývá schematickým řešením jednotlivých funkčních bloků koncepce, detailně popisuje postup návrhu a předběžně stanovuje parametry předzesilovače.

V kapitole „4 Realizace a měření“ jsem uvedl naměřené parametry předzesilovače.

## 2 Seznam symbolů a zkratek

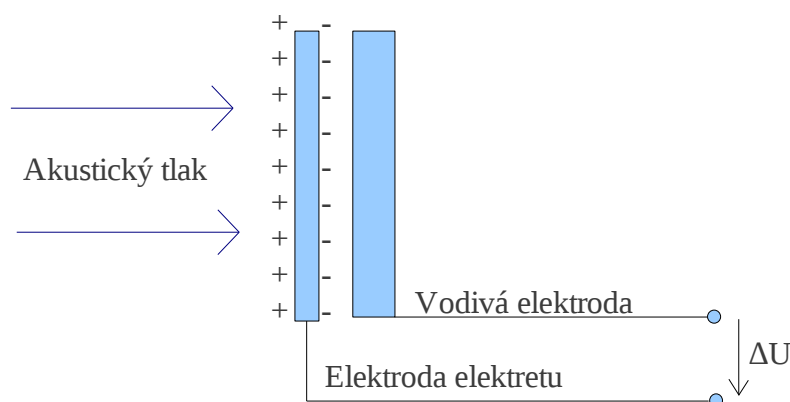
$\Delta C$ [F].....	Změna kapacity membrány mikrofonu
$\Delta d$ [m].....	Změna vzdálenosti membrány mikrofonu
$\Delta U$ [V].....	Změna napětí na membráně mikrofonu
$U_R$ [V].....	Napájecí napětí mikrofonní kapsle
$R_Z$ [ $\Omega$ ].....	Zatěžovací impedance
$U_{ZD}$ [V].....	Závěrné napětí zenerovy diody
$A_u$ [dB], $a_u$ [-].....	Velikost zesílení
SPL [dB], spl [Pa]....	Maximální hodnota akustického tlaku pro mikrofonní kapsli
$p_0=2,5 \cdot 10^{-5}$ [Pa].....	Ethalon hladiny akustického tlaku
$L_p$ [dB], $p$ [Pa].....	Hladina akustického tlaku
SNR [dB].....	Odstup signál-šum
$F_P$ [dB].....	Napěťový přenos
$t_{ON}$ [s].....	Doba sepnutí MC34063AP
$t_{OFF}$ [s].....	Doba vypnutí MC34063AP
$U_{CC}$ [V].....	Napájecí napětí předzesilovače
$U_0$ [V].....	Napájecí napětí zdroje
$U_{OUT}$ [V].....	Výstupní napětí předzesilovače
$U_{REF}$ [V].....	Vnitřní napěťová reference MC34063AP
$U_{1N5819}$ [V].....	Úbytek napětí na diodě 1N5819 v propustném směru
$U_{SAT}$ [V].....	Saturační napětí vnitřního spínače MC34063AP
$U_{GND}$ [V].....	Napěťový potenciál „umělé země“
$U_{mic}$ [V].....	Napěťový potenciál mikrofonní kapsle
$U_{RIPPLE}$ [V].....	Zvlnění napájecího napětí DC/DC měniče
$I_{OUT}$ [A].....	Odběr proudu předzesilovače
$I_{UZ}$ [A].....	Klidový proud děliče „umělé země“
$I_0$ [A].....	Napájecí proud zdroje
OZ.....	Operační zesilovač
Char. ....	Charakteristika
Frekv. ....	Frekvenční
DC / DC měnič.....	Stejnoseměrný měnič
J-Fet.....	Unipolární tranzistor



## 1 Náhlavní mikrofon - headset

Náhlavní mikrofony se od ostatních mikrofonů liší především mechanickou konstrukcí, která umožňuje připevnění mikrofonu k obvodu hlavy. Jejich hlavní přednost oproti ostatním mikrofonům tedy spočívá ve volnosti pohybu rukou i těla. Z hlediska elektrické konstrukce se v praxi používají dva základní druhy mikrofonních kapslí – dynamická a elektretová. Elektretová vložka má vůči dynamické širší frekvenční pásmo a vyšší citlivost, proto byla zvolena pro aplikaci mikrofonního předzesilovače.

### 1.1 Elektretový mikrofon – princip



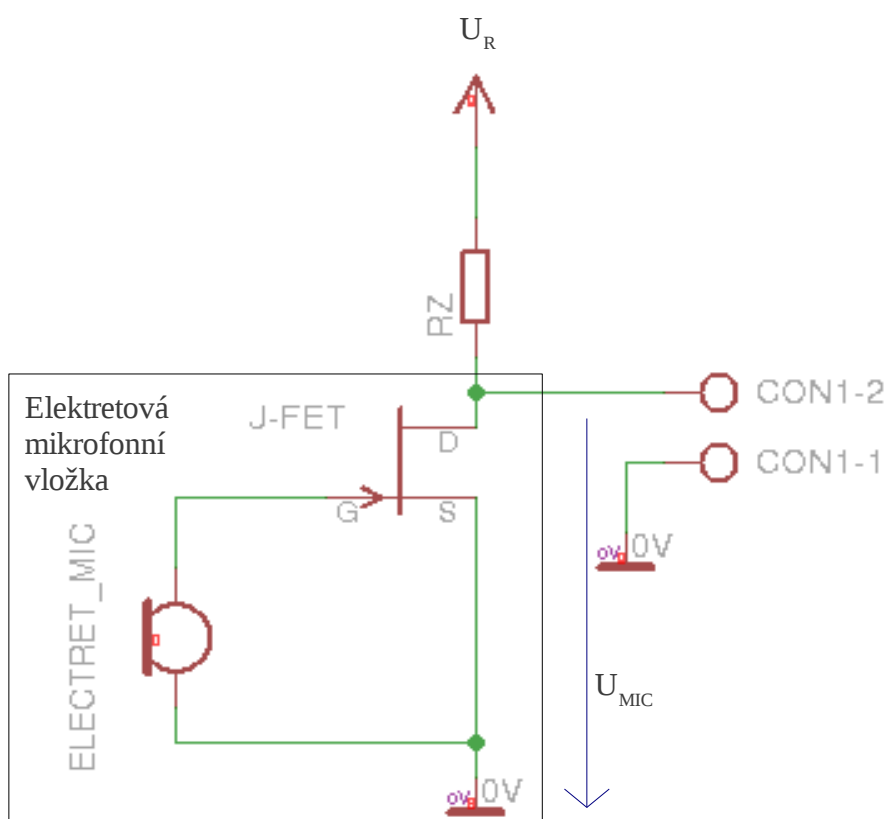
Obr. 1.1 Principiální konstrukce elektretového mikrofonu

Elektretový mikrofon pracuje na principu kondenzátorového mikrofonu, který není polarizován vnějším přivedeným napětím nýbrž samopolarizujícím se dielektrickým materiálem – Elektretem.

Vnější akustický tlak deformuje polohu „d“ membrány a mění tak kapacitu mezi elektrodami podle vztahu  $\Delta C = \varepsilon \cdot \frac{S}{\Delta d}$ . Mezi deskami je napětí díky konstantnímu náboji polarizovaného Elektretu. Změna kapacity se proto projeví změnou napětí podle vztahu  $\Delta U = \frac{Q}{\Delta C}$ .

## 1.2 Elektretová mikrofonní vložka

Velikost napětí  $\Delta U$  vyvolané rozkmitem membrány elektretového mikrofonu je příliš malá a tudíž nevhodná pro přímý přenos signálu do předzesilovače. Proto je výrobci do elektretové mikrofonní vložky integrován J-FET.



Obr. 1.2 Principiální zapojení elektretové mikrofonní vložky

Pro návrh předzesilovače bylo vycházeno z obecného schématu na Obr. 1.2. U některých typů headsetů bývá „S“ J-FET tranzistoru neuzemněno a vyvedeno zvlášť. Pro návrh předzesilovače uvažujeme, že bude uzemněn.

RZ je zatěžovací impedance J-FET tranzistoru, přes kterou je přivedeno napájecí napětí. Pro správnou funkci a dosažení optimálních parametrů mikrofonní vložky je vhodné zvolit impedanci udanou výrobcem, případně nastavit takovou, aby  $U_{MIC} = U_R/2$ .

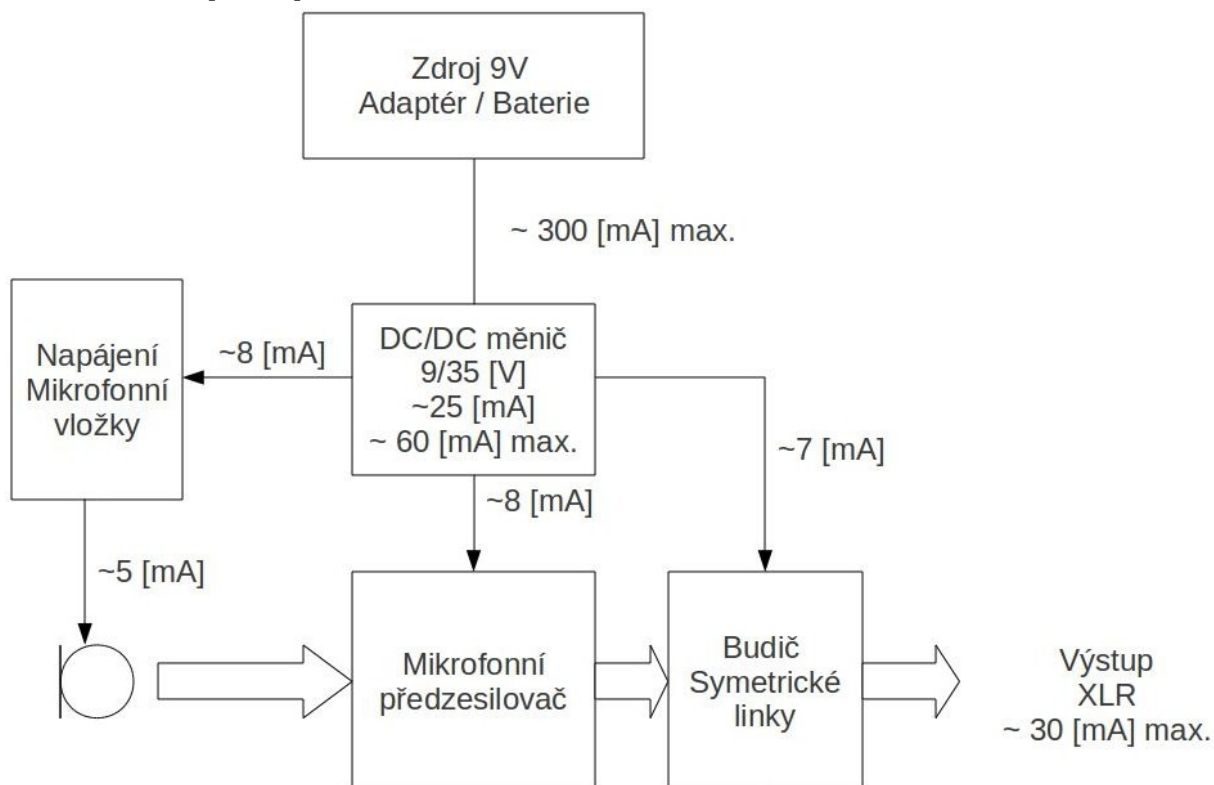
### 1.3 Průzkum trhu náhlavních mikrofonů

Pro návrh předzesilovače jsou základními parametry: Napájecí napětí a zatěžovací impedance. Aby byl předzesilovač univerzální zvolil jsem napájecí napětí přepínatelné 9/33 [V] a zatěžovací impedance jsem realizoval trimrem hodnoty 10 [kΩ] – pro konkrétní typ headsetu se tím nabízí možnost přenastavit ji na optimální hodnotu. Pro vstupní konektor jsem zvolil 1/8" mini Jack.

Výrobce	Typ	Zdroj dat	Char.	c [mV/Pa]	Frekv. [Hz – kHz]	SPL [dB]	SNR [dB]	Ur [V]	Výstupní konektor	RZ [Ohm]
Sennheiser	ME3	[1]	kardioidní	1,6	60 – 18	150	110	12 – 48	1/8" Jack	-
Shure	PG30TQ	[2]	kardioidní	2,5	60 – 18	92	61	5 – 10	TA4F	1200
AKG	c555	[3]	kardioidní	35	80 – 20	126	72	9 – 52	3pin mini XLR	2000
AKG	C520	[4]	kardioidní	5	60 – 20	130	63	9 – 52	3pin mini XLR	2000
Beyerdynamic	Opus 54 09	[5]	kardioidní	6	40 – 17	132	60	9 – 48	nezakončený kabel	4700

Tab. 1.1 Parametry vybraných typů headsetů dostupných na trhu

## 2 Koncepce předzesilovače



Obr. 2.1 Blokové schéma předzesilovače

Pro správnou funkci celého zařízení bylo nutné navrhnout nejenom samotný předzesilovač a zdroj napájecího napětí pro mikrofonní kapsli, ale i napájecí zdroj celého zařízení a vyřešit úpravu signálu do parametrů vhodných pro přenos do jiných zařízení.

## 2.1 Zdroj

Pro napájecí zdroj celého zařízení se v základní úvaze nabízelo vícero možností:

- **Phantomové napájení +48V**

Phantomové napájení se používá především jako externí napájecí zdroj kondenzátorových mikrofonů. V praxi je možné ho odebírat nejčastěji ze vstupů mixážních pultů. Jeho parametry jsou stanoveny normou DIN 45596 / IEC 61938: napětí 48 [V]; proud max. 10 [mA] [6]. Vzhledem očekávané celkové spotřebě zařízení (>10 [mA]) byl tento způsob zavržen.

- **Napájení +5V z USB**

USB – univerzální sériová sběrnice se používá k externímu připojení periférií k počítači. USB 2.0 zaručuje možný odběr proudu do 100 [mA]. Tento způsob jsem nepřijal vzhledem k omezenému odběru proudu a ne-vždy možné dostupnosti počítače.

- **Bateriové napájení**

Baterie splňuje všechny požadavky napájecího zdroje a proto jsem ji zvolil za jednu z možností a to pro hodnotu napájecího napětí  $U_0=9$  [V].

- **Napájení externím adaptérem**

Vzhledem k životnosti 9V-baterie jsem za druhou možnost vybral externí napájecí adaptér o napětí  $U_0=9$  [V].

## 2.2 DC/DC měnič 9/35 [V]

Obvody symetrického budiče vyžadují symetrické napájení takové hodnoty, aby hodnota výstupního napětí do linky byla dle normy „IEC 61076-2-103 v rozmezí do

$U_{out(max)}=5$  [V] [7] => potřebujeme napájecí napětí větší než 9V. Navíc pro dosažení kvalitního signálu jak z mikrofonní vložky tak z předzesilovače je nutné napájecí napětí zvýšit. Vzhledem ke standardu napájení +18 / -18 [V] operačních zesilovačů, použitých jsem rozhodl hodnotu 35 [V].

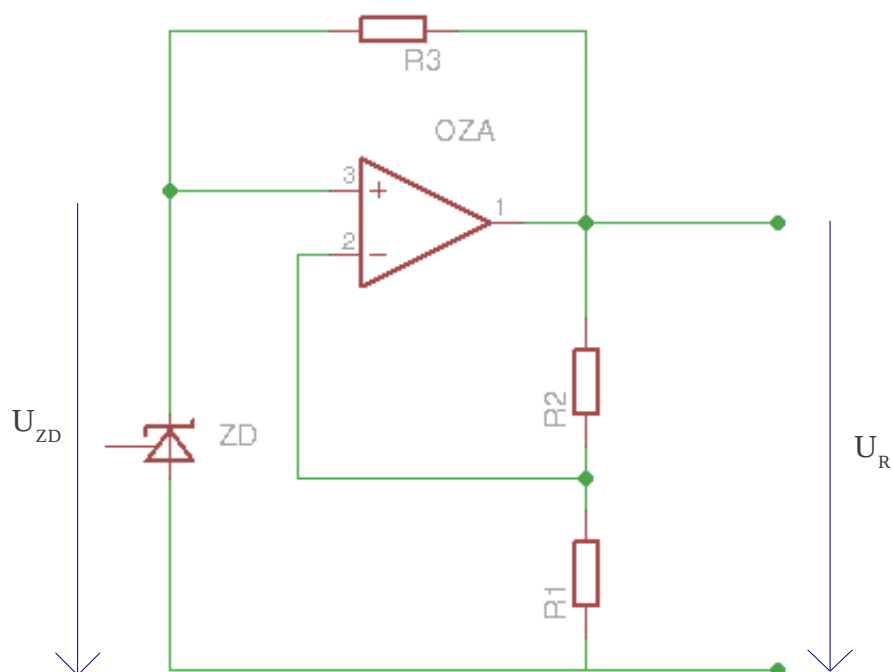
DC/DC měnič bude postaven na základě DC/DC kontroléru řady MC34063AP. Tento kontrolér splňuje všechny nároky na požadovaný DC/DC měnič:

- vysoká frekvence oscilátoru – až 100 [kHz]
- nízký odběr samotného kontroléru ~ 3,2 [mA] při napájecím napětí 9 [V]
- vnitřní, precizní referenční zdroj napětí)
- minimální požadavky na počet vnějších součástek

Zdroj dat [8]

### 2.3 Napájení mikrofonní vložky

Společně se s hudebním signálem mikrofonní vložky je zesilováno také zvlnění napájecího napětí. Proto je výhodné ho stabilizovat. Pro návrh stabilizátoru jsme vyšli z obecného schématu elektronického referenčního zdroje napětí.



Obr. 2.2 Obecné schéma elektronického referenčního zdroje napětí [9]

Výstupní napětí  $U_R$  je určeno vztahem pro neinvertující operační zesilovač:

$$U_R = U_{ZD} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$U_{ZD}$  je závěrné napětí zenerovy diody a  $R_3$  je předřadný odpor zenerovy diody.

Za zdroj referenčního napětí jsem vybral precizní referenční dioda LM336:

- nízký teplotní koeficient
- proudový rozsah 400 [μA] až 10 [mA]
- dynamická impedance 0,2 Ω
- nízké šumové číslo: 5 [nV/√Hz]
- referenční napětí 2,5 ± 1% [V]

*Zdroj dat [10]*

## 2.4 Mikrofonní předzesilovač

Pro realizaci předzesilovače jsem zvolil duální operační zesilovač NE5532:

- vnitřní kmitočtová kompenzace
- nízké šumové číslo: 5 [nV/√Hz]
- nízká spotřeba ~8mA

*Zdroj dat [11]*

Před samotným návrhem je dobré si určit celkové zesílení předzesilovače, volitelné v rozmezí  $Au(\min) \rightarrow Au(\max)$ . Pro výpočty berme v potaz, že budič symetrické linky bude mít zesílení 6 [dB] (viz. 2.5 Budič symetrické linky).

### **Au(min)**

Aby v zařízení, ke kterému bude předzesilovač připojen, nedocházelo k přebuzení, je výhodné si určit minimální hodnotu zesílení  $Au(\min)$  předzesilovače.

Prověřím parametry jednotlivých typů headsetů – citlivost a SPL (maximální hladina akustického tlaku). Upravím základní vztah hladiny akustického tlaku:

$$Lp = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \Rightarrow spl = p_0 \cdot 10^{\frac{SPL}{20}}$$

Kterým SPL [dB] převedeme na spl [Pa]. Vynásobíme-li citlivost mikrofonu „c“ maximální hladinou akustického tlaku, získáme hodnotu maximálního výstupního napětí. Maximální úroveň výstupního linkového signálu  $U_{out(max)}$  je 5 [V]. Můžeme tedy říci:

$$Au(min) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{OUT(max)}}{c \cdot spl}\right)$$

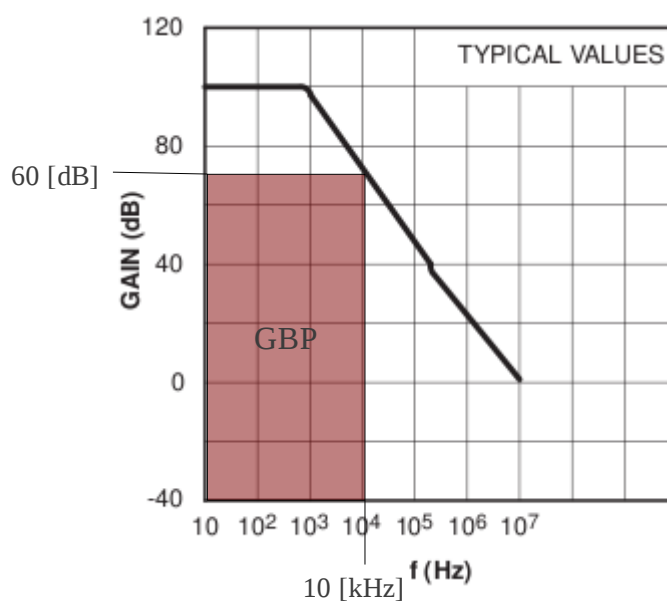
Pro předzesilovač byla vzhledem ke konstrukci (zesílení SSM2142) stanovena hodnota 6dB, která, jak je patrné z tab. 1.1, nepřesahuje  $Au(min)$  žádného z typů headsetů.

Výrobce	Typ	$Au(min)$
Sennheiser	ME3	13,876401
Shure	PG30TQ	68
AKG	c555	11,077439
AKG	C520	23,9794
Beyerdynamic	Opus 54 09	20,395775

Tab. 2.1 Minimální zesílení  $Au(min)$  pro jednotlivé typy headsetů dostupných na trhu

### $Au(max)$

Pro volbu velikosti maximálního zesílení jsme omezeni parametry operačních zesilovačů - vyšším zesílením se zužuje šířka pásma (GBP).



Obr. 2.3 Frekvenční charakteristika NE5532 [11]

Došel jsem ke kompromisu zesílení 60 [dB] s mezní frekvencí nad 10 [kHz]. Uvědomme si, že toto je hraniční zesílení - pro nižší zesílení od 50 [dB] již bude pokryta celá šíře slyšitelného frekvenčního pásma. K tomuto zesílení přičtu zesílení linkového symetrického budiče +6 [dB]. Výsledné maximální zesílení tedy bude  $Au(max)=66dB$ . Tuto horní mez se pokusím v následujícím odstavci obhájit:

Z tab. 1.1 vyberu mikrofonní vložku s nejnižší citlivostí – Sennheiser ME3  $c=1,6$  [mV/Pa]. Pro tuto citlivost vypočtu hladinu akustického tlaku, který vybudí výstup na maximální úroveň napětí  $U_{OUT}(max)=5$  [V] (viz. 2.2) při zesílení 66 [dB].

$$Au(max)=66 [dB] \approx au(max)=10^{\frac{66}{20}}=2000$$

$$Lp[au(max), c(min)]=20 \cdot \log\left(\frac{U_{OUT}(max)}{au(max) \cdot c(min)}\right)=20 \cdot \log\left(\frac{5}{2000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3}}\right)=97 [dB]$$

Z výsledku (hluk 97 [dB] ~ hlasitému výkřiku), což potvrzuje, že zesílení  $Au(max)$  je dostatečné.

## 2.5 Symetrický linkový budič

Ke kvalitnímu přenosu hudebního signálu je standardem vést signál symetricky. Což znamená, že vedeme 2 tvarově shodné signály, jejichž polarita je opačná – 2.signál je vůči 1.signálu inverzní. V přijímacím zařízení se tyto dva signály od sebe odečtou. Jelikož jsou signály vůči sobě inverzní, ve výsledku se sečtou. Co se však od sebe odečte, je rušení přenosové cesty.

Z principu je patrné, že kvalita symetrického vedení signálu je závislá především na kvalitě symetrie oněch inverzních signálů. K obvodovému řešení jsem vybral integrovaný obvod symetrického budiče SSM2142:

- nízká chyba zesílení 0,7 [%]
- je schopen budit dlouhé vedení s parazitními kapacitami
- při výstupním napětí 10 [V] vybudí zátěž až 600 [ $\Omega$ ]
- nízké zkreslení 0,006 [%]
- odběr proudu ~ 7 [mA]



- konstantní zesílení 6 [dB] v celém slyšitelném frekvenčním pásmu
- ochrana proti zkratu

Zdroj dat [12]

### 3 Návrh předzesilovače

#### 3.1 DC/DC měnič

Měnič byl jsem navrhl na základě elementárního obvodového řešení doporučeného výrobcem (viz. Příloha B). Hodnoty součástek byly taktéž určeny dle katalogu výrobce [8]. Frekvenci oscilátoru nastavím na 100 [kHz], aby se vymykala slyšitelnému frekvenčnímu pásmu.

Velikost výstupního napětí  $U_{cc}$  je určena z vnitřní napěťové reference  $U_{ref}=1,25$  [V]:

$$U_{cc} = U_{ref} \left( 1 + \frac{R14}{R13} \right)$$

$$\frac{U_{cc}}{U_{ref}} = 1 + \frac{R14}{R13} \Rightarrow \frac{36}{1,25} = 1 + \frac{R14}{R13} \Rightarrow \frac{R14}{R13} = \frac{35}{1,25} - 1 = 27 \approx \frac{270 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}$$

Předchozí úpravou jsem vybral hodnoty  $R14=270$  [k $\Omega$ ] a  $R13=10$  [k $\Omega$ ] z řady odporů E12.

Pro další výpočty jsem vyšel z popisových vztahů MC34063AP dle katalogu [8].  $U_{1N5819}=0,4$  [V] je úbytek napětí napětí schottkyho diody D1 (1N5819) v propustném směru D1 (1N5819) [13]. Hodnotu  $U_o(\min)=83\%(U_o)=7,5$  [V] jsem stanovil s ohledem na napájecí zdroj  $U_o=9$  [V] – příliš velký pokles vstupního napětí zvyšuje odebíraný proud  $I_{PK}(\text{switch})$  a při napájení z baterie nebo adaptéru by mohlo dojít k jejich nevratnému poškození. Hodnotu  $U_{SAT}=0,5$  [V] jsem odečetl z katalogu MC34063AP [8] s ohledem na odběr proudu  $I_{OUT}(\max) = I(\text{předzesilovač}) + I(XLR) = 0,03 + 0,03 = 60$  [mA], který jsem rozhodl vzhledem k požadavkům na výstupní proud signálu symetrického linkového budiče.

Pro výpočet oscilátoru určím následujícími vztahy dobu sepnutí  $t_{ON}$  a dobu vypnutí  $t_{OFF}$  spínače MC34063AP:

$$\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} = \frac{U_{CC} + U_{1N5819} - U_0(\min)}{U_0(\min) - U_{SAT}} = \frac{35 + 0,4 - 0,83 \cdot 9}{0,83 \cdot 9 - 1} = 4$$

$$t_{ON} + t_{OFF} = \frac{1}{f} = \frac{1}{100 \cdot 10^3} = 10 [\mu s]$$

$$t_{OFF} = \frac{t_{ON} + t_{OFF}}{\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{3,89 + 1} = 2 [\mu s]$$

$$t_{ON} = (t_{ON} + t_{OFF}) - t_{OFF} = 10 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-6} = 8 [\mu s]$$

$$C10 = 4 \cdot 10^{-5} \cdot t_{ON} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 7,89 \cdot 10^{-6} = 316 [pF] \approx 330 pF$$

Hodnota C10 (oscilační kapacita) jsem zaokrouhlil na standardní velikost 330 [pF]. Pro tyto zaokrouhlené hodnoty znovu přepočtu parametry a z nich určím minimální velikost akumulární indukčnosti L1(min):

$$t_{ON} = \frac{C10}{4 \cdot 10^{-5}} = \frac{330 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 10^{-5}} = 8,25 [\mu s]$$

$$t_{OFF} = \frac{t_{ON}}{\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1} = \frac{8,25 \cdot 10^{-6}}{3,98} = 2,07 [\mu s]$$

$$f = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}} = \frac{1}{8,25 \cdot 10^{-6} + 2,07 \cdot 10^{-6}} = 96899 [Hz]$$

$I_{PK}(\text{switch})$  je špičkový proud vnitřním spínačem MC34063AP a je špičkovým proudem, odebíraným ze zdroje:

$$I_{PK}(\text{switch}) = 2 \cdot I_{out}(\max) \cdot \left( \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2 \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot (4 + 1) = 600 [mA]$$

Odpor R16 snímá velikost  $I_{PK}(\text{switch})$ :

$$R16 = \frac{0,3}{I_{PK}(\text{switch})} = \frac{0,3}{0,58} = 0,51 [\Omega] \quad I_{PK}(\text{switch}) = \frac{0,3}{R16} = \frac{0,3}{500} = 600 [mA]$$

R16 (omezovač proudu) jsem vybral v hodnotě 0,5 [Ω] – dostupné na trhu.

Výpočet akumulární indukčnosti L1(min) :

$$L1(\min) = \left( \frac{U_0(\min) - U_{SAT}}{I_{PK}(\text{switch})} \right) \cdot t_{ON} = \left( \frac{0,83 \cdot 9 - 0,5}{0,6} \right) \cdot 8,25 \cdot 10^{-6} = 96,25 [\mu H] \Rightarrow L1 = 1 [mH]$$

C12 má funkci vyhlazovacího kondenzátoru při zvoleném zvlnění výstupního napětí  $U_{RIPPLE}=1$  [mV]

$$C12 = 9 \cdot \left( \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON}}{U_{RIPPLE}} \right) = 9 \cdot \left( \frac{60 \cdot 10^{-3} \cdot 8,25 \cdot 10^{-6}}{0,001} \right) = 4,45 [mF] \approx 4,7 [mF]$$

L2 a C13 tvoří vyhlazovací filtr doporučený výrobcem o hodnotách  $L2=1$  [uH] a  $C13=100$  [uF].  $R15=180$  [ $\Omega$ ] nastavuje vlastnosti Darlingtonova zapojení vnitřního spínače MC34063AP a je pro zapojení STEP-UP (zvyšujícího měniče) standardní.

Abych omezil proudové špičky  $I_{PK}(\text{switch})$  při odběru ze zdroje (zvláště pro napájení z baterie) je praktické zařadit na napájecí vstup tlumivku L3.

Hodnotu L3 odvodím z diferenciální rovnice, popisující chování indukčnosti:

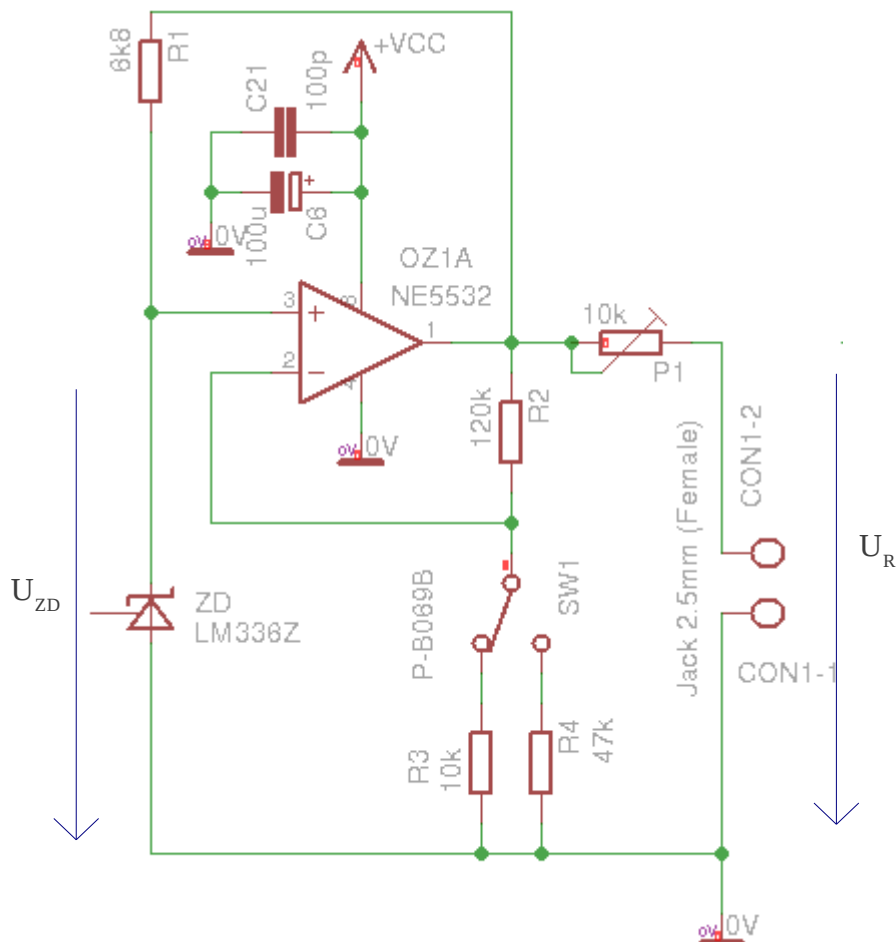
$$U_0 = L3 \cdot \frac{d(i_{L3})}{d(t)} \approx L3 \cdot \frac{I_{PK}(\text{switch})}{t_{ON}} \Rightarrow L3 = U_0 \cdot \frac{t_{ON}}{I_{PK}(\text{switch})} = 9 \cdot \frac{8,25 \cdot 10^{-6}}{0,6} = 1,23 [mH] \approx 1,50 [mH]$$

Výsledné parametry DC/DC měniče tedy jsou:

- výstupní napětí 35 [V]
- zvlnění  $U_{RIPPLE} \sim 1$  [mV]
- maximální výstupní proud  $I_{OUT}(\text{max}) \sim 60$  [mA]
- frekvence oscilátoru  $\sim 97$  [kHz]
- odběr z napájecího zdroje  $I_0(\text{max}) \sim I_0 \sim \frac{I_{PK}(\text{switch})}{2} = \frac{0,6}{2} = 300$  [mA]

### 3.2 Napájení mikrofonní vložky

Za OZ1A jsem použil první část duálního operačního zesilovače NE5532 zapojeného na nesymetrické napájení 35 [V]. CON1 je vstupní konektor pro připojení headsetu. C6 má funkci vyhlazovacího napájecího kondenzátoru. P1 tvoří nastavitelnou zatěžovací impedanci mikrofonní vložky a byl zvolen na základě přezkoumání parametrů headsetů (viz 1.3.). C21 – keramický kondenzátor odrušuje vysokofrekvenční napěťové špičky  $\sim 100$  [kHz] DC/DC měniče a měl by být zapojen co nejbližší napěťovému vstupu OZ1.



Obr. 3.1 Schéma napájení mikrofonní vložky

Abych dostal přepínatelné úrovně napájecího napětí 9/33 [V] mikrofonní vložky, navrhl jsem výsledný obvod pro každé napětí zvlášť:

**Ur =9 [V]:**

$$U_R = U_{ZD} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) \Rightarrow \frac{U_R}{U_{ZD}} - 1 = \frac{R_2}{R_3} \quad \frac{R_2}{R_3} = \frac{9}{2,5} - 1 = \frac{13}{5} \approx \frac{120}{47}$$

Z odporové řady E12 byly vybrány hodnoty  $R_2=120$  [k $\Omega$ ] a  $R_3=47$  [k $\Omega$ ].

Výsledné napětí tedy bude:

$$U_R = U_{ZD} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) = U_R = 2,5 \cdot \left(1 + \frac{120 \cdot 10^3}{47 \cdot 10^3}\right) = 8,88 [V]$$

Pro tuto hodnotu ověřím velikost proudu zenerovou diodou:

$$I_{ZD} = \frac{U_R - U_{ZD}}{R1} = \frac{8,88 - 2,5}{6800} = 938 [\mu A]$$

- Proud je v rozsahu LM336. Zvolený  $R1=6800 [\Omega]$  vyhovuje.

**Ur =33 [V]**

$$U_R = U_{ZD} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R4}\right) \Rightarrow \frac{U_R}{U_{ZD}} - 1 = \frac{R2}{R4} \quad \frac{R2}{R4} = \frac{33}{2,5} - 1 = \frac{61}{5} \approx \frac{120}{10}$$

Z odporové řady E12 byla vybrána hodnota  $R4=10 [k\Omega]$ , které odpovídá velikost napájecího napětí:

$$U_R = U_{ZD} \cdot \left(1 + \frac{R2}{R4}\right) = U_R = 2,5 \cdot \left(1 + \frac{120 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^3}\right) = 32,5 [V]$$

Pro tuto hodnotu zjistím velikost proudu LM336:

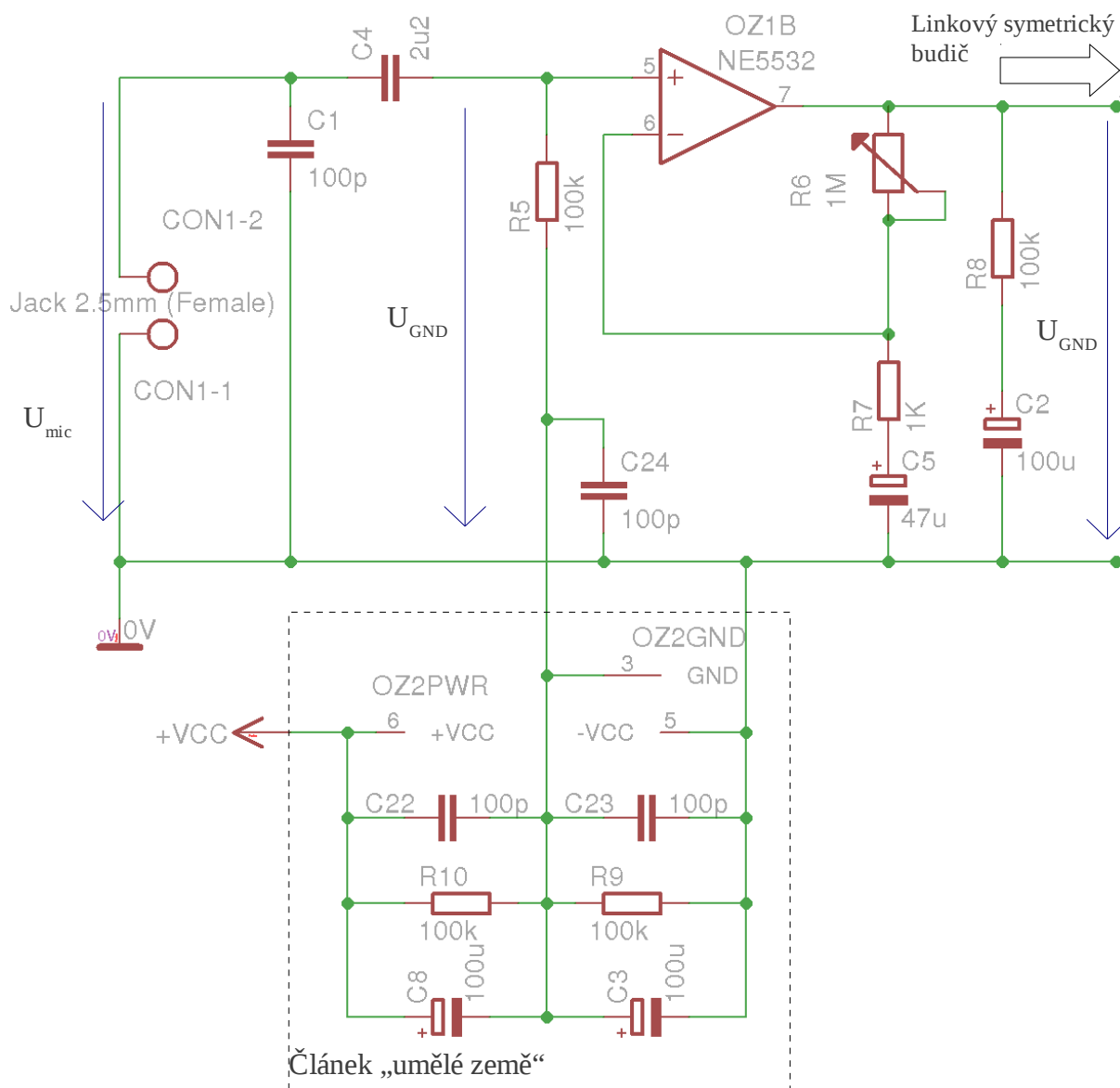
$$I_{ZD} = \frac{U_R - U_{ZD}}{R1} = \frac{32,5 - 2,5}{6800} = 4,41 [mA]$$

- Proud je v rozsahu LM336. Zvolený  $R1=6800 [\Omega]$  vyhovuje.

### 3.3 Mikrofonní předzesilovač

Pro zesilovací prvek OZ1B jsem použil druhou část duálního operačního zesilovače NE5532 zapojeného na nesymetrické napájení 35 [V]. CON1 je vstupní konektor pro připojení headsetu. C1 je keramický odrušovací kondenzátor, který zkratuje nežádoucí vysoké frekvence vstupního signálu – mohou jimi být např. frekvence oscilátoru DC/DC měniče nebo rádiové frekvence indukované do headsetu. C4 odděluje napěťový potenciál mikrofonní kapsle  $U_{mic}$  a vstupu OZ1B  $U_{GND}$ . C4 je svitkový kondenzátor - může nastat situace, kdy tento potenciál bude nulový (elektrolytický kondenzátor nelze v této situaci použít). C4 zároveň propouští střídavý mikrofonní signál, který se uzavírá přes R5 a článek „umělé země“. (C22, C23, C24) – keramické kondenzátory odrušují vysokofrekvenční napěťové špičky

~ 100 [kHz] DC/DC měniče – proto by měli být zapojeny co nejbližše vývodům – C24 k OZ1 a (C23,C24) k OZ2.



Obr. 3.2 Schéma mikrofonního předzesilovače

Aby OZ1B při nesymetrickém zapojení pracoval i na střídavém signálu je nutné vytvořit „umělou zemi“. Ta je složena z odporového děliče (R9,R10) a filtračních kondenzátorů (C8,C3). Článek je přiveden na napájecí napětí  $U_{CC}$ . R9 a R10 mají

shodnou hodnotu 100 [kΩ], z čehož plyne, že „umělá zem bude na potenciálu  $U_{GND}=U_{CC}/2$ :

$$U_{GND}=U_{CC} \cdot \frac{R9}{R9+R10}=35 \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3+100 \cdot 10^3}=17.5 [V]$$

R9 a R10 zatěžují zdroj zanedbatelným proudem:

$$I_{UZ}=\frac{U_{CC}}{R9+R10}=\frac{35}{100 \cdot 10^3+100 \cdot 10^3}=175 [\mu A]$$

C8 a C3 vyhlazují napájecí napětí a filtrují teplotní šum odporů R9 a R10, který by se jinak zanesl do signálu. K článku je navíc připojeno napájení symetrického linkového budiče – viz. 3.4.

Vlastní předzesilovač je navržen v neinvertujícím zapojení OZ1B, daného vztahem pro zesílení:

$$A_u(OZ1B)=1+\frac{R6}{R7}$$

R6 je proměnný – realizován pomocí potenciometru. Při  $R6=0$  [Ω] se zapojení chová jako napěťový sledovač se zesílením 1x. Hodnotu R6 vyjádřím ze žádaného zesílení 60 [dB] ~ 1000 [-] (viz. 2.4) . R6 jsem dle odporové řady E12 vybral v hodnotě 1 [MΩ] a R5 v hodnotě 1 [kΩ]. C5 odděluje potenciál  $U_{GND}$  od „zemního“ potenciálu – klidový proud větve R6 a R7 je díky tomu nulový – snižuje se odběr celého zařízení. Zároveň také vyhlazuje  $U_{GND}$  na výstupu OZ1B. Pro střídavý signál má nízkou reaktanci, čili „uzemňuje“ větve R6 a R7. Větve R8 a C2 tvoří výstupní zátěž OZ1B. C2 má podobnou funkci jako C5.

Nyní se podíváme na celé zapojení blíže z hlediska zesilovaného frekvenčního pásma. Při vstupu dochází k omezení nízkých frekvencí oddělovacím kondenzátorem C4 podle vztahu:

$$F_p(vstup, f)=20 \cdot \log\left(\frac{R5+(R9^{-1}+R10^{-1}+X_{C9}^{-1}+X_{C3}^{-1})^{-1}}{X_{C4}+R5+(R9^{-1}+R10^{-1}+X_{C9}^{-1}+X_{C3}^{-1})^{-1}}\right)$$

$$F_p(vstup, f)=20 \cdot \log\left(\frac{100 \cdot 10^3+(2 \cdot (100 \cdot 10^3)^{-1}+2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot 100 \cdot 10^{-6}))^{-1}}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}}+100 \cdot 10^3+(2 \cdot (100 \cdot 10^3)^{-1}+2 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f \cdot 100 \cdot 10^{-6}))^{-1}}}\right)$$

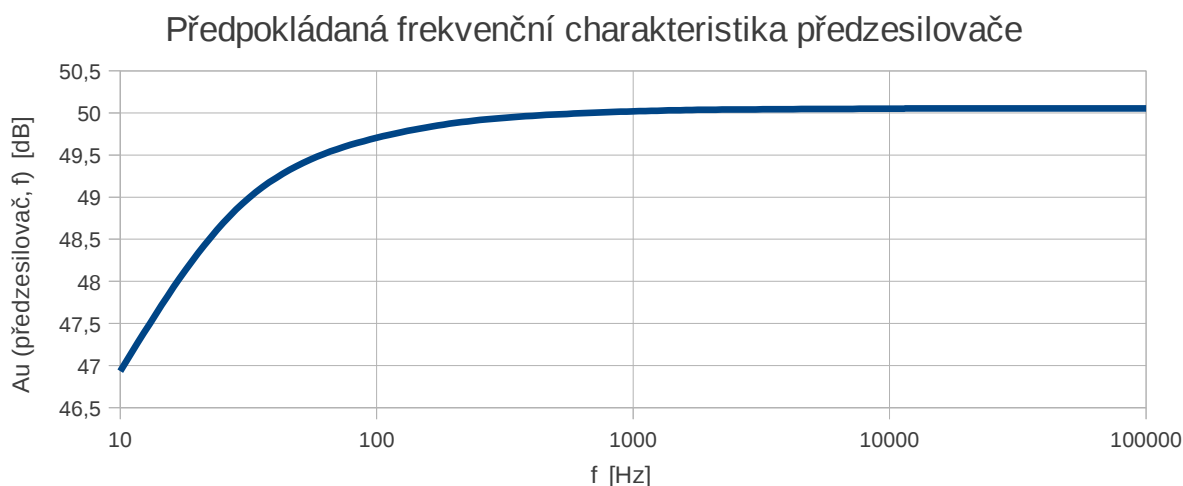
Pro zesílení OZ1B platí:

$$Au(OZ1B, f) = 20 \cdot \log \left( 1 + \frac{R6}{R7 + X_{C5}} \right) = 20 \cdot \log \left( 1 + \frac{R6}{1000 + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot 47 \cdot 10^{-6}}} \right)$$

Celkové zesílení předzesilovače je dáno jejich součtem + zesílení linkového symetrického budiče (+ 6 [dB]):

$$Au(\text{předzesilovač}, f) = F_p(\text{vstup}, f) + Au(OZ1B, f) + Au(SSM2142)$$

Celkové zesílení jsem vynesl do grafu (Obr. 3.3) pro zesílení ~ 50 [dB] (od 55 [dB] se na vysokých frekvencích začne projevovat GBP (NE5532)):



Obr. 3.3 Graf předpokládané frekvenční charakteristiky předzesilovače

Pro zesílení  $Au(OZ1B) = 60$  [dB] ~ 1000 [-] ještě vyjádřím velikost dalšího důležitého parametru předzesilovačů: odstup signál-šum SNR v pásmu 20 až 20000 [Hz] při vlastním šumu (NE5532) ~ 5 nV/√Hz a maximálním napětí výstupu ~ 2,5 [V]:

$$SNR(OZ1B) = 20 \cdot \log \left( \frac{U_{OUT(max)}}{au(SSM2142)} \right) = 20 \cdot \log \left( \frac{\frac{5}{2}}{1000 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{20000 - 20}} \right) = 71 [dB]$$

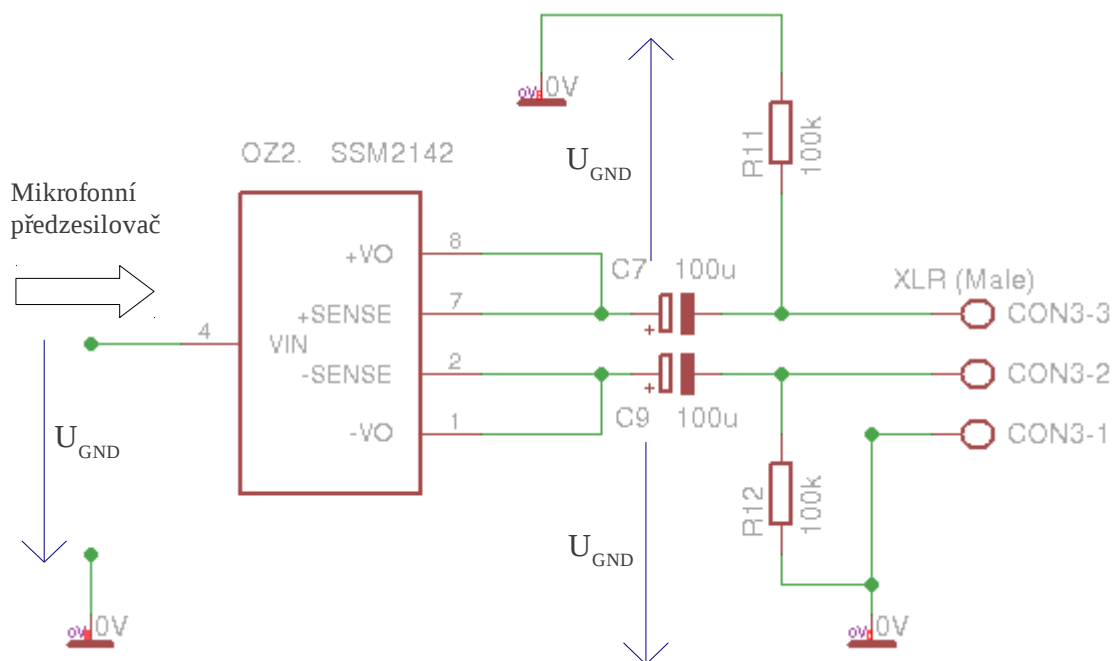
SNR (OZ1B) roste souběžně se snižováním zesílením, čili pro  $Au(OZ1B) = 40$  [dB] bude  $SNR(OZ1B) = 91$  [dB].



### 3.4 Linkový symetrický budič

SSM2142 v sobě integruje všechny požadované činnosti linkového symetrického budiče. Vyžaduje však symetrické napájení, které jsme vyřešili připojením napájecích vývodů k článku „umělé země“ – viz. 3.2. Abych zabránil průniku stejnosměrné složky  $U_{\text{GND}}$  na výstup XLR, vedu výstupní signál přes kondenzátory C7 a C9 na „zemní“ potenciál odporů R11 a R12. Pro R11 a R12 jsem záměrně zvolil vysoké hodnoty 100 [k $\Omega$ ], které pro SSM2142 představují minimální zátěž.

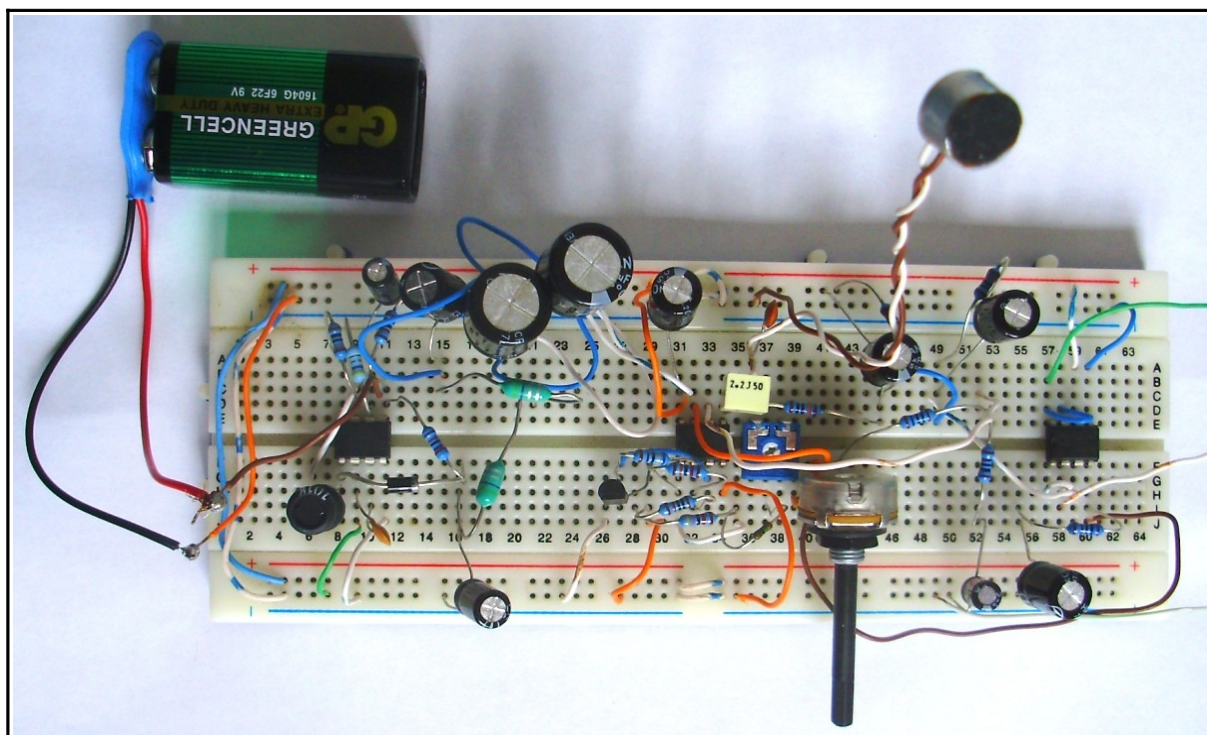
Vzhledem k dimenzování DC/DC měniče je maximální výstupní proud omezen při plném zatížení všech funkčních bloků ~ 30 [mA]. Což dovoluje budit signálem 5 [V] zátěž ~ 300 [ $\Omega$ ].



Obr. 3.4 Schéma linkového symetrického budiče

## 4 Realizace a měření

Předzesilovač jsem sestavil na nepájivém poli (Obr. 4.1) dle celkového schématu viz. Příloha A,B.



Obr. 4.1 Fotografie realizovaného předzesilovače

Na přípravku (napájení 9 [V] baterie) byly naměřeny následující parametry:

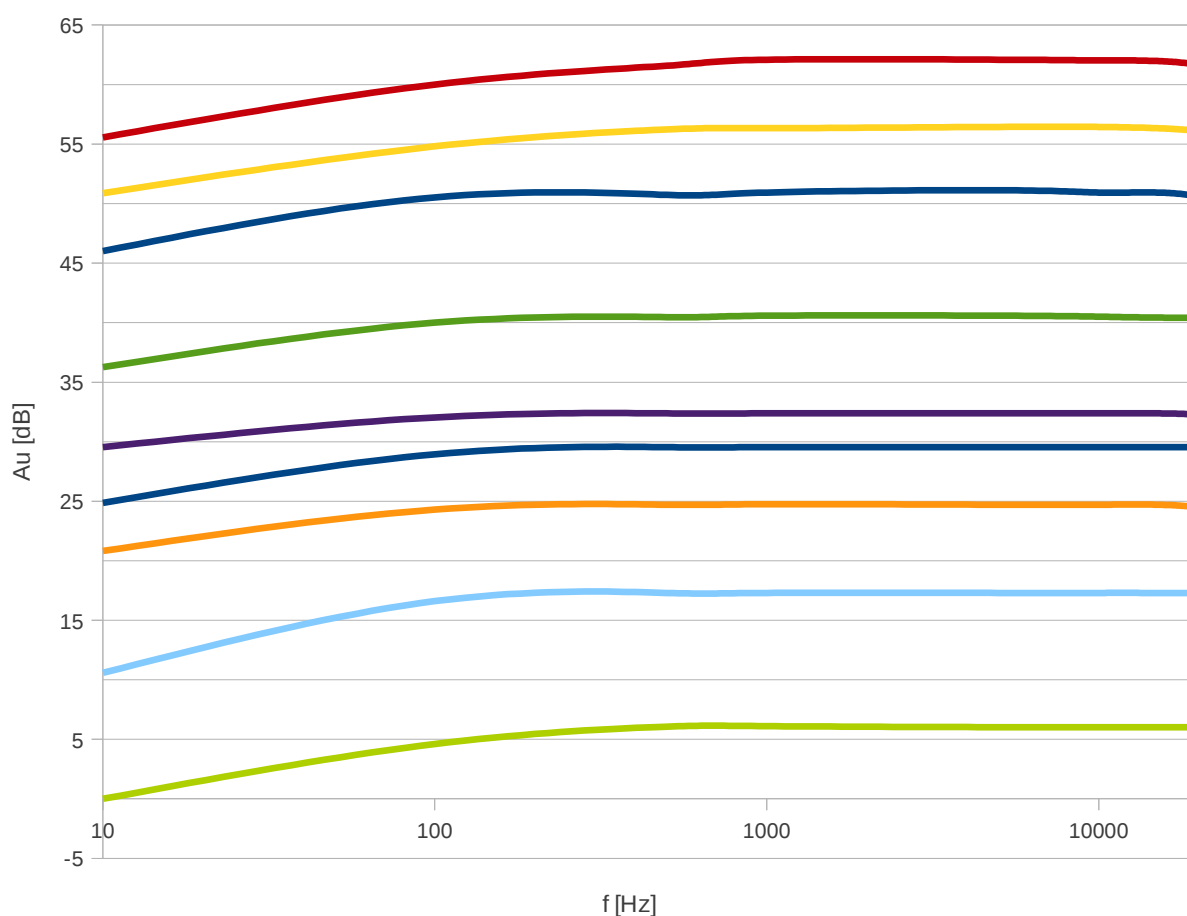
- maximální zvlnění napájecího napětí DC/DC měniče  $U_{\text{RIPPLE}} \sim 8$  [mV], 100 [kHz]
- maximální zvlnění napájecího napětí mikrofonní kapsle pro  $U_{\text{R}}=9$  [V]  $\sim 3$  [mV]
- maximální zvlnění napájecího napětí mikrofonní kapsle pro  $U_{\text{R}}=32$  [V]  $\sim 2$  [mV]
- celkový klidový odběr zařízení  $\sim 80$  [mA]
- klidový odběr předzesilovače (výstupní proud DC/DC měniče)  $\sim 20$  [mA]

Při napájení 9V-adaptérem byly naměřeny hodnoty všech zvlnění dvojnásobné.

Vzhledem k realizaci na nepájivém poli se do přípravku indukovali rušivé signály z okolních zařízení a na výstup předzesilovače pronikalo zvlnění  $U_{\text{RIPPLE}} \sim 8$  [mV], 100 [kHz].

Osciloskopem jsem vzájemně porovnal harmonické signály invertujícího i neinvertujícího výstupu linkového symetrického budiče. Na frekvenčním pásmu 10 [Hz] ÷ 20 [kHz] nepozoroval jsem žádné tvarové ani fázové nesymetrie signálu. Pro maximální amplitudu výstupního harmonického napětí bez tvarového zkreslení jsem naměřil hodnotu  $\sim 12$  [V] v pásmu 10 [Hz] ÷ 20 [kHz].

Na předzesilovači byly pro celý rozsah zesílení změřeny následující frekvenční charakteristiky (Obr. 4.2):



Obr. 4.2 Frekvenční charakteristika předzesilovače

## 5 Závěr

Cílem předkládané bakalářské práce bylo navrhnout a vytvořit mikrofonní předzesilovač pro headset a napájecí zdroj mikrofonní kapsle.

K účelnému řešení bylo nutné vycházet z parametrů a požadavků koncepce předzesilovače (viz. 2 Koncepce předzesilovače) a vyřešit nejen samotný mikrofonní předzesilovač a napájecí zdroj mikrofonní kapsle, ale navíc také napájení celého zařízení a linkový symetrický budič.

Napájecí zdroj celého zařízení byl navržen jako DC / DC měnič ze vstupního napětí  $U_0 \sim 9$  [V] /  $I_0(\max)=0,3$  [A], pracující v rozmezí od 7,5 [V] do  $(U_{CC}-U_{SAT}) \sim 34$  [V].

Linkový symetrický budič byl postaven na základě integrovaného symetrického budiče SSM2217 schopný v tomto návrhu vybudit zátěž  $\sim 300$  [ $\Omega$ ] napětím  $U_{OUT} = 5$  [V].

Napájecí zdroj byl realizován s přepínatelnou úrovní napájecího napětí 9 [V] a 33 [V] prostřednictvím napěťové reference precizní zenerovy diody.

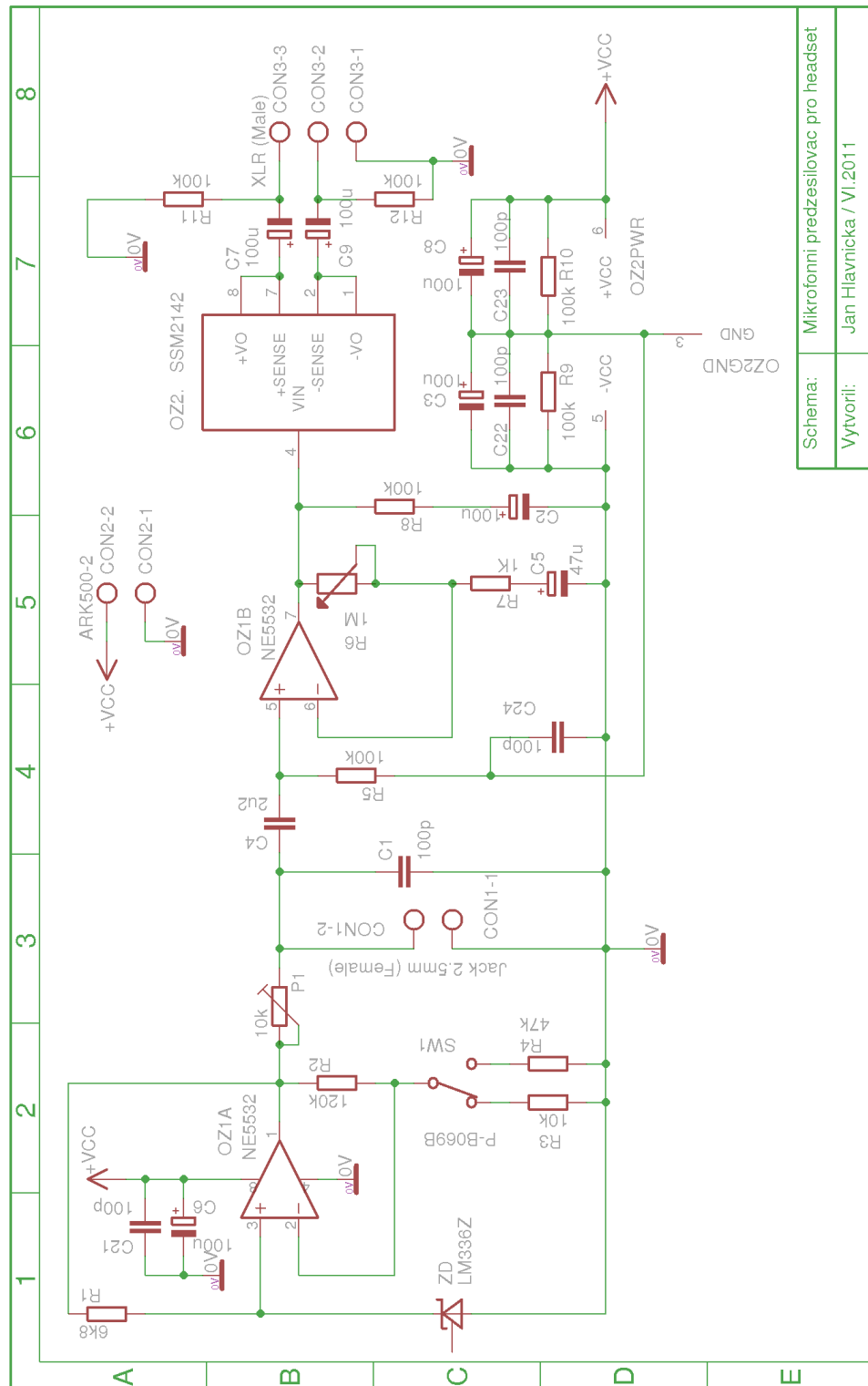
Mikrofonní předzesilovač byl vyřešen jako zapojení neinvertujícího OZ v rozsahu zesílení 0 [dB] až 60 [dB] s plynulou regulací zesílení.

## 6 Použitá literatura

- [1] Sennheiser Communications A/S :[http://www.sennheiser.co.uk/uk/home\\_en.nsf/root/-professional\\_wireless-microphone-systems\\_headsets\\_headsets\\_005019](http://www.sennheiser.co.uk/uk/home_en.nsf/root/-professional_wireless-microphone-systems_headsets_headsets_005019)
- [2] Shure Incorporated: <http://www.shure.com/americas/products/microphones/PG/pg30-headset-condenser-microphone>
- [3] AKG Acoustics GmbH : AKG C 555 L, 2009
- [4] AKG Acoustics GmbH : AKG C 520/C 520 L , 2009
- [5] Beyerdynamic U.K. Ltd. : Opus 64 09 Product information - DEF4/PI OPUS64 (11.05)/554.251, 2005
- [6] <http://www.rane.com/par-p.html>
- [7] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikimedia Foundation: [http://en.wikipedia.org/wiki/Balanced\\_line](http://en.wikipedia.org/wiki/Balanced_line), 2010
- [8] Texas Instruments Incorporated : MC33063A, MC34063A 1.5A PEAK BOOST/BUCK/INVERTING SWITCHING REGULATORS SLLS636D – DECEMBER 2004 – REVISED MARCH 2005
- [9] FLUKE CORPORATION: Firemní literatura. Everett 1993
- [10] National Semiconductor Corporation : LM136-2.5/LM236-2.5/LM336-2.5V Reference Diode , 1999
- [11] Philips Semiconductors: DOC. NO. 9397 750 09563 - NE/SA/SE5532/5532A Internally-compensated dual low noise operational amplifier , 2001
- [12] Analog Devices, Inc. : Balanced Line Driver SSM2142, 2011
- [13] Fairchild Semiconductor Corporation : 1N5817 – 1N5819 , 1998

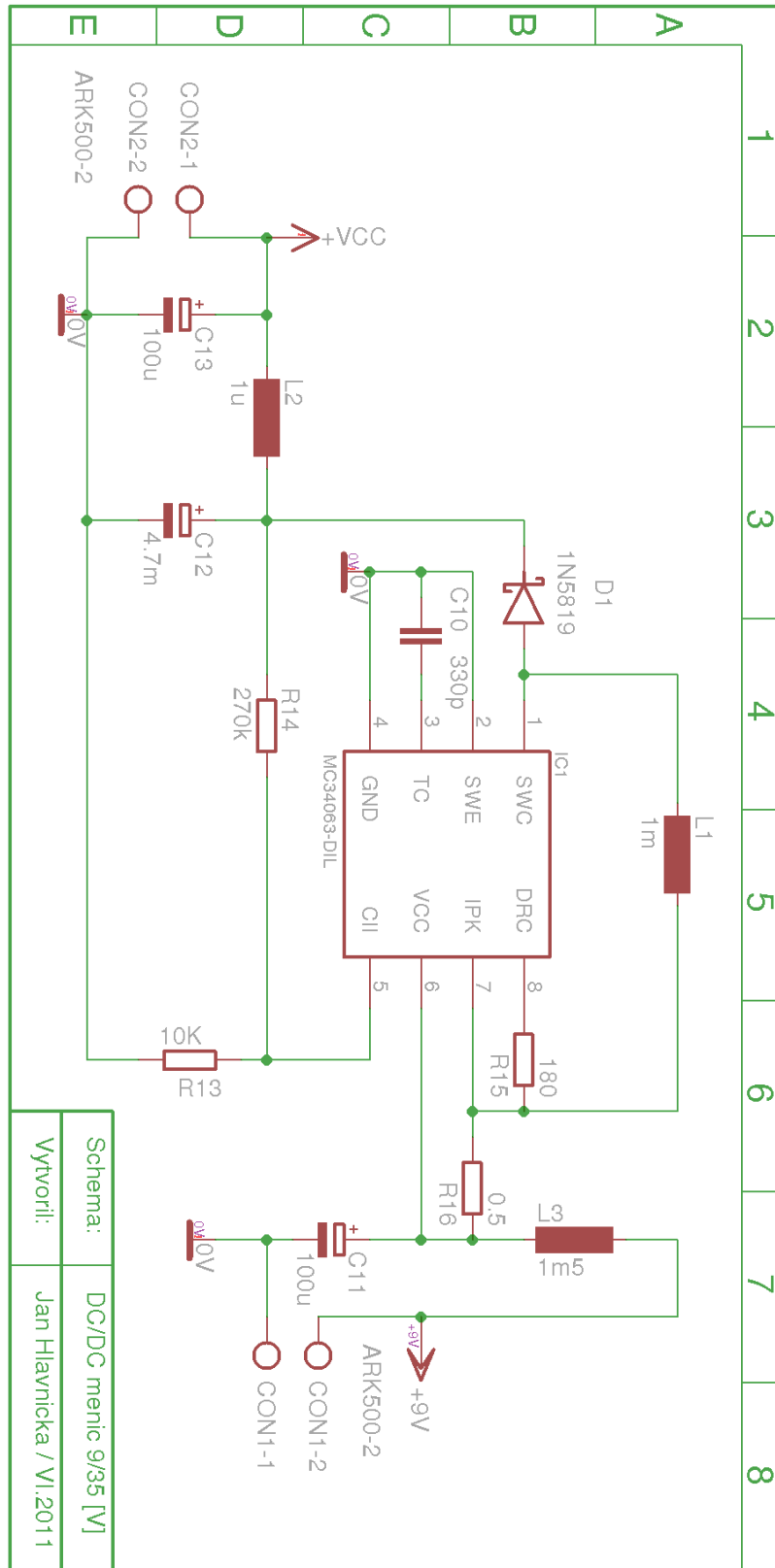
## 7 Přílohy

### Příloha A – Schéma předzesilovače



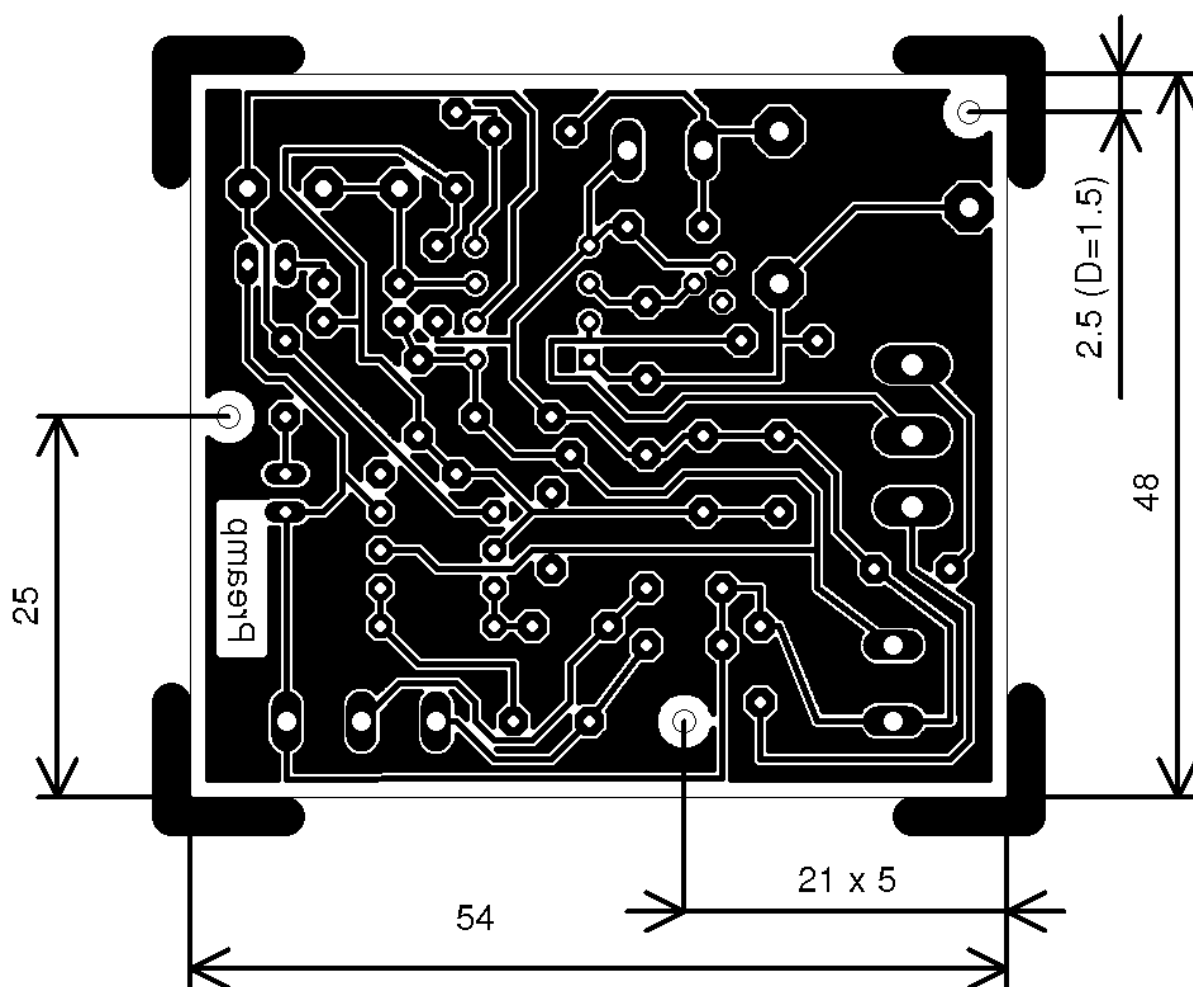
Schema:	Mikrofonní předzesilovač pro headset
Vytvoril:	Jan Hlavnička / VI.2011

Příloha B – Schéma DC/DC měniče



Příloha C – Návrh desky plošných spojů předzesilovače

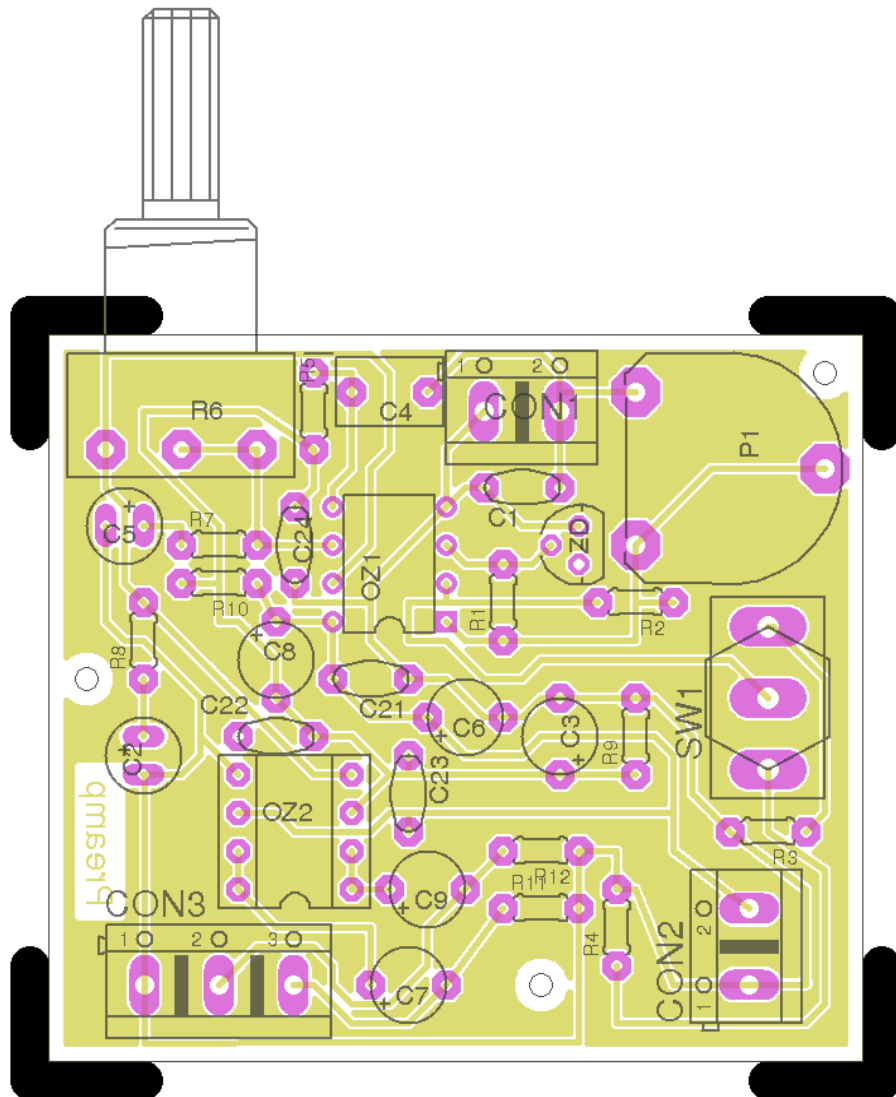
Měřítko 2:1





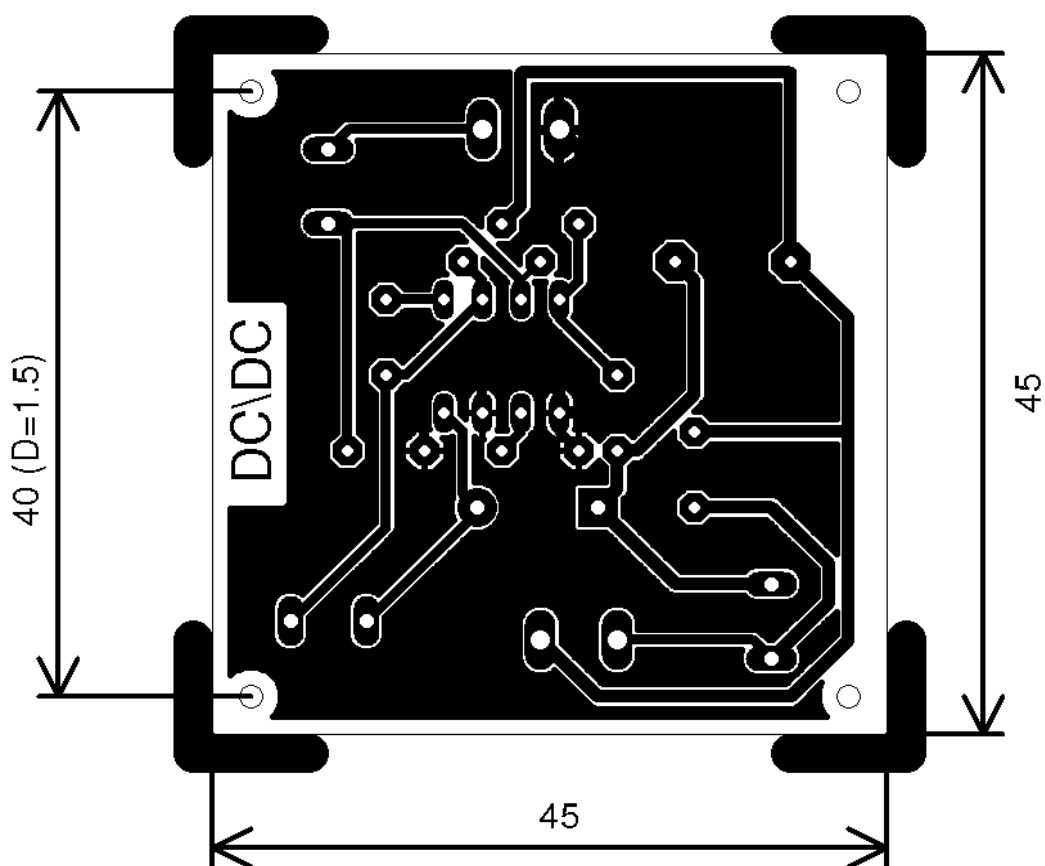
## Příloha D – Rozmístění součástek na desce plošných spojů předzesilovače

### Měřítko 2:1



**Příloha E – Návrh desky plošných spojů DC/DC měniče**

**Měřítko 2:1**



Příloha F – Rozmístění součástek na desce plošných spojů DC/DC měniče

Měřítko 2:1

