

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

2012

Ladislav Zuzjak

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta elektrotechnická

Konstrukce vícekanálového mikrofonního  
předzesilovače

Ladislav Zuzjak

Školitel: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Plzeň 2012

## **Anotace**

V této diplomové práci je popsána úprava zapojení a konstrukce vstupních obvodů předzesilovače ADA8000, který bývá používán v ozvučovací technice, aby byl využitelný i pro akustická měření. To zároveň umožňuje využít pro specifická akustická měření i mikrofony používané v ozvučovací technice.

## **Klíčová slova**

měřící mikrofón, ADAT, ADA8000, předzesilovač

## **Abstract**

This thesis describes the modification and new design of the input of the preamplifier ADA8000, which is often used in sound technology also for acoustic measurements. This modification enables to use the microphones used in sound technology also for acoustic measurements.

## **Keywords**

measuring microphone, ADAT, ADA8000, preamplifier

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr magisterského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne 7. května 2012

Ladislav Zuzjak

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph.D. za poskytnutí rad, literatury a za odborné vedení celé práce.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Současný stav problematiky</b>	<b>2</b>
2.1	Využití mikrofonů používaných v ozvučovací technice pro akustická měření . . . . .	2
2.1.1	Mikrofony nahrazující klasické měřicí mikrofony . . . . .	3
2.1.2	Mikrofony klopové – miniaturní . . . . .	10
2.1.3	Mikrofony používané pro akustická měření v profesionální praxi	13
<b>3</b>	<b>Konstrukce vícekanálového mikrofonního předzesilovače</b>	<b>15</b>
3.1	Měřicí řetězec pro měření v dozvukové komoře . . . . .	15
3.2	Výběr vhodného předzesilovače pro měření . . . . .	16
3.3	Snížení harmonického zkreslení předzesilovače . . . . .	17
3.4	Návrh nové vstupní části předzesilovače ADA8000 . . . . .	20
3.5	Předzesilovač ADA8000 . . . . .	23
3.5.1	A/D převodník pro předzesilovač ADA8000 . . . . .	23
3.6	Mechanické řešení předzesilovače ADA8000 . . . . .	26
3.6.1	Deska plošných spojů pro nově navržený předzesilovač . . . . .	26
3.6.2	Celkové mechanické řešení nového předzesilovače . . . . .	27
3.7	Realizace prototypu předzesilovače . . . . .	28
3.7.1	Naměřené parametry prototypu předzesilovače . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>32</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>33</b>
	<b>Použitá literatura</b>	<b>37</b>

## Seznam použitých zkratek

<b>SPL</b>	– <b>S</b> ound <b>P</b> ressure <b>L</b> evel
<b>DPS</b>	– <b>D</b> eska <b>P</b> lošných <b>S</b> pojů
<b>PXX</b>	– Fantomové napájení mikrofonů o hodnotě XX voltů
<b>dB</b> A	– Decibel vážený pomocí A-filtru
<b>dBFS</b>	– Decibel relativní k plnému rozsahu, udávaný v digitálních systémech
<b>dBu</b>	– Decibel relativní k vztažené úrovni 0,775 V
<b>A/D</b>	– <b>A</b> nalogově <b>D</b> igitální
<b>D/A</b>	– <b>D</b> igitálně <b>A</b> nalogový
<b>ADAT</b>	– <b>A</b> lesis <b>D</b> igital <b>A</b> udio <b>T</b> ape – digitální audio rozhraní
<b>S/PDIF</b>	– <b>S</b> ony <b>P</b> hilips <b>D</b> igital <b>I</b> nter <b>F</b> ace – digitální audio rozhraní
<b>AES/EBU</b>	– <b>A</b> udio <b>E</b> ngineering <b>S</b> ociety/ <b>E</b> uropean <b>B</b> roadcasting <b>U</b> nion – digitální audio rozhraní
<b>SW</b>	– <b>S</b> oft <b>W</b> are – programové vybavení
<b>LED</b>	– <b>L</b> ight <b>E</b> mitting <b>D</b> iode – světlo vyzařující dioda
<b>THD+N</b>	– <b>T</b> otal <b>H</b> armonic <b>D</b> istortion plus <b>N</b> oise – celkové harmonické zkreslení s šumem
<b>PET</b>	– <b>P</b> oly <b>E</b> thylen <b>T</b> ereftalát

# 1 Úvod

V technice používané pro akustická měření se v řadě případů využívají místo měřicích mikrofonů netradičně i mikrofony používané v ozvučovací technice. Oproti profesionálním měřicím mikrofonům mají mikrofony používané v profesionální zvukové technice obvykle příznivější cenu při značné mechanické odolnosti. Omezení bývá obvykle v některých parametrech, především v linearitě frekvenční charakteristiky, v nižším dynamickém rozsahu, případně v nestandardních rozměrech, což však v řadě případů nemusí být na závadu.

Speciálním případem měřicí metody v akustice je měření doby dozvuku v dozvukové komoře, která se využívá například pro stanovení činitele zvukové pohltivosti akustických materiálů. Dozvuková komora akustických laboratoří FEL ZČU bude využívat pro měření doby dozvuku minimálně osm pevně instalovaných mikrofonů s příslušnými předzesilovači.

Diplomová práce se zabývá posouzením možnosti náhrady profesionálních měřicích mikrofonů mikrofony používanými v ozvučovací technice, kdy zásadní nutností je úprava mikrofonních předzesilovačů používaných ve zvukové technice i pro měřicí účely. Cílem náhrady mikrofonů i předzesilovačů je značná úspora finančních nákladů při zachování důležitých parametrů celého měřicího řetězce a především jeho mechanické odolnosti.



## 2 Současný stav problematiky

### 2.1 Využití mikrofonů používaných v ozvučovací technice pro akustická měření

Mikrofony používané v pódiové, studiové a reportážní praxi lze považovat za mikrofony používané v ozvučovací technice. Oproti profesionálním měřícím mikrofonům mají mikrofony používané v profesionální ozvučovací technice příznivou cenu při podobných parametrech.

Při použití mikrofonů v měřící praxi je nutno dodržet následující požadavky:

- mikrofon musí mít kulovou směrovou charakteristiku, aby jej bylo možno považovat za tlakový,
- u mikrofonu musí být známa frekvenční charakteristika a odchylka od referenční citlivosti,
- mikrofon musí mít dostatečnou citlivost a maximální hodnotu SPL,
- parametry mikrofonu se nesmí měnit v závislosti na čase.

Pro akustická měření jsou vhodné mikrofony kondenzátorové konstrukce, které splňují výše uvedené požadavky. Nevýhodou mikrofonů s kondenzátorovou konstrukcí je nutnost použití dodatečného fantomového napájení (P12, P24, P48). Na základě požadavků na akustická měření je možno rozdělit vhodné mikrofony do tří kategorií:

- mikrofony nahrazující klasické měřící mikrofony,
- mikrofony klopové – miniaturní,
- mikrofony používané pro akustická měření v profesionální praxi.

Pro správnou činnost kondenzátorových mikrofonů je nutné polarizační napětí nebo předpolarizovaná elektroda. U nekvalitních předpolarizovaných mikrofonů může do-

cházet v čase ke ztrátě polarizace, což má za následek výrazné snížení citlivosti mikrofonu (až jednotky dB za rok). Předpolarizování je realizováno keramickou hmotou, která je po vytvrzení vypálením trvale polarizována.

### 2.1.1 Mikrofony nahrazující klasické měřící mikrofony

Při hledání náhrady za profesionální měřící mikrofony, jejichž hlavním nedostatkem je jejich vysoká cena, je nutno najít mikrofony, které je možné dobře upevnit na mikrofonní stojan a splňují výše uvedené požadavky. Použití těchto mikrofonů se předpokládá hlavně v dozvukové komoře pro měření akustických vlastností materiálů. Při použití v dozvukové komoře, není potřeba absolutní přesnost měřené hodnoty, a proto se nemusí provádět kalibrace. Tyto mikrofony lze použít také v bezodrazové komoře například pro měření frekvenčních charakteristik elektroakustických měničů.

#### Mikrofon B-5 od výrobce Behringer

Behringer je německá společnost zabývající se konstrukcí levných profesionálních audiozařízení [1]. Mikrofon je tužkové konstrukce s celokovovým obalem (viz Obr. 1). Je zde možnost výměny vložky za typ s kulovou charakteristikou, která je dodávána společně s mikrofonem. Výrobce uvádí velice optimistické frekvenční charakteristiky, které jsou pro mikrofon v této cenové kategorii nezvyklé (viz Obr. 2). Mikrofon má nestandardní průměr 17 mm. Fantomové napájení je P48, cena 1 630 Kč [2].

#### Mikrofon 4003 od výrobce DPA Microphones

DPA Microphones je dánská společnost, která spolupracuje s výrobcem měřící techniky Brüel & Kjær a specializuje se na vývoj a výrobu mikrofonů [3]. Tato spolupráce zajišťuje mikrofony, které jsou velice kvalitní. Provedení tohoto mikrofonu je podobné klasickému měřicímu mikrofonu (viz Obr. 3), i když je primárně určen pro snímání hudebních nástrojů. Mikrofon 4003 dosahuje zajímavých parametrů (viz Obr. 4) – velice nízké šumové pozadí 15 dBA a maximální SPL je 154 dB. Výrobce

dodává vyměnitelné přední mřížky pro použití ve volném nebo difuzním poli. Velkou nevýhodou tohoto mikrofonu je nutnost použití nestandardního napájení 130 V, nestandardní průměr kapsle 16 mm a jeho vysoká cena 55 530 Kč [4].

### **Mikrofony 4090 a 4091 od výrobce DPA Microphones**

Výrobce DPA Microphones nabízí i levnější variantu mikrofonů, které mohou být použity pro akustická měření (4090 a 4091). Mikrofonní kapsle typu 4090 má průměr 5,4 mm (viz Obr. 5). Tyto mikrofony nedosahují takových kvalit jako mikrofon 4003, ale i přes to jsou vhodné pro akustická měření (viz Obr. 6). Udávané šumové pozadí tohoto mikrofonu je 23 dBA a maximální SPL 134 dB. Napájení je již standardní fantomové P48. Cena 13 590 Kč. Mikrofon 4091 má nižší referenční citlivost a vyšší maximální SPL. Mikrofonní kapsle má průměr 5,4 mm. Udávané šumové pozadí je 26 dBA a maximální SPL 144 dB. Napájení je standardní fantomové P48. Cena 13 600 Kč [4].

### **Mikrofon NT55 od výrobce RØDE Microphones**

RØDE Microphones je australská společnost zabývající se vývojem a výrobou mikrofonů [5]. Mikrofon NT55 má celokovové tělo. Od výrobce je dodáván v sadě s vyměnitelnou vložkou. Rozměr mikrofonní kapsle je  $\frac{1}{2}$ ". Výrobce udávaný polární diagram je velice vyrovnaný (viz Obr. 7). Na frekvenční charakteristice je viditelný nárůst citlivosti o 9 dB v okolí frekvence 10 kHz. Cena 5 980 Kč [6].

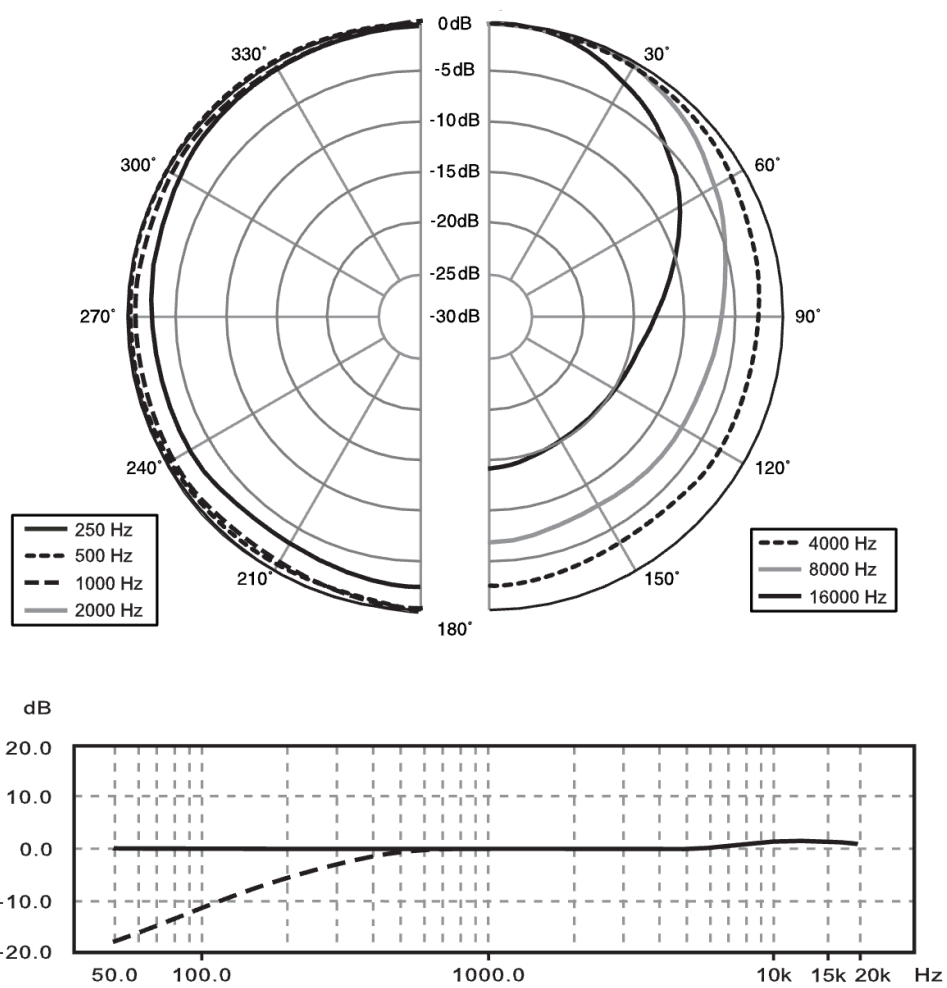
### **Mikrofon C4 MkII od výrobce Studio projects**

Mikrofon C4 MkII má podobnou konstrukci jako mikrofon NT55 od výrobce RØDE (viz Obr. 9). Mikrofonní vložka má nestandardní průměr 20 mm. Na frekvenční charakteristice od výrobce není tak výrazný nárůst citlivosti jako u NT55 (viz Obr. 10). Na polárním diagramu je viditelný značný pokles citlivosti mimo osu, který je -4 dB pro 8 kHz a -14 dB pro 16 kHz. Cena je 9 390 Kč za dvojici mikrofonů [4].

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY



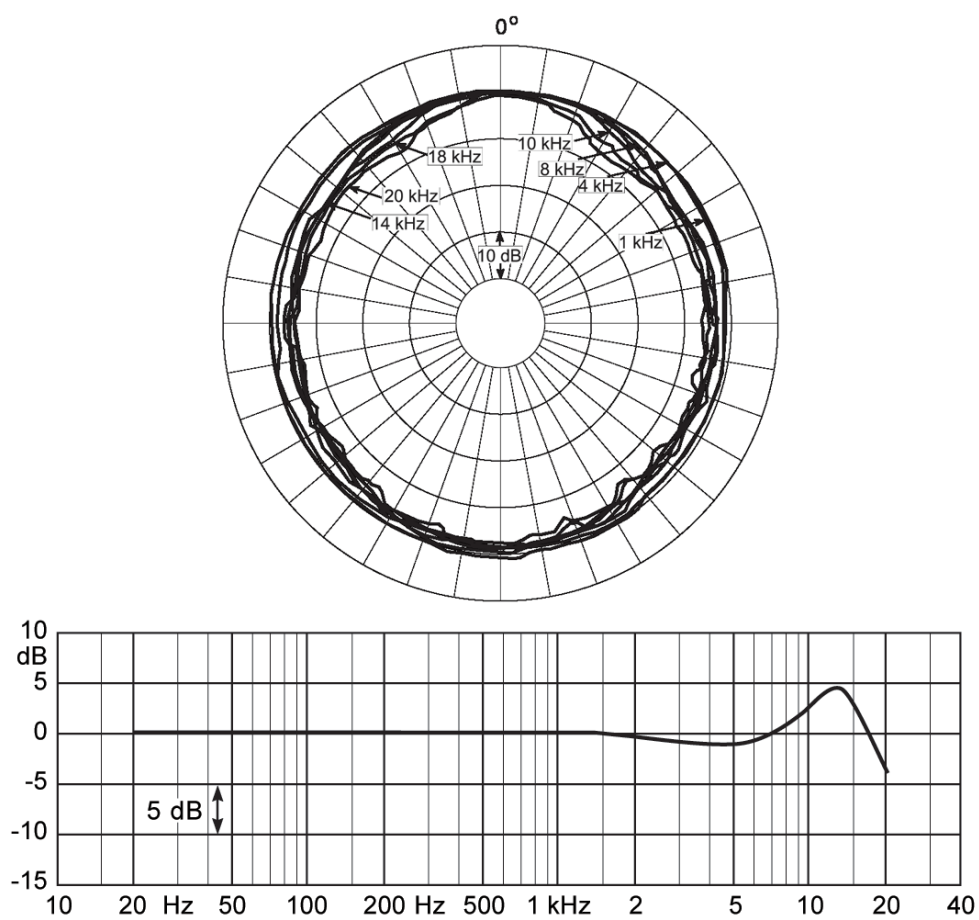
Obr. 1: Mikrofon B-5 od výrobce Behringer [7].



Obr. 2: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu B-5 od výrobce Behringer [7].



Obr. 3: Mikrofon 4003 od výrobce DPA Microphones [8].



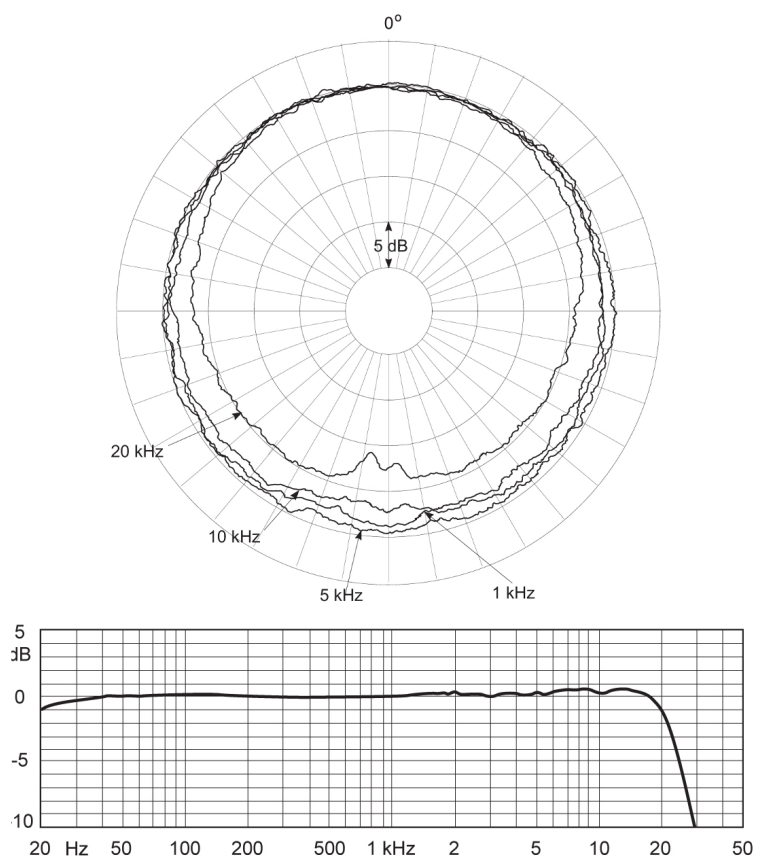
Obr. 4: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu 4003 od výrobce DPA Microphones [8].

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

---



Obr. 5: Mikrofony 4090 a 4091 od výrobce DPA Microphones [9].

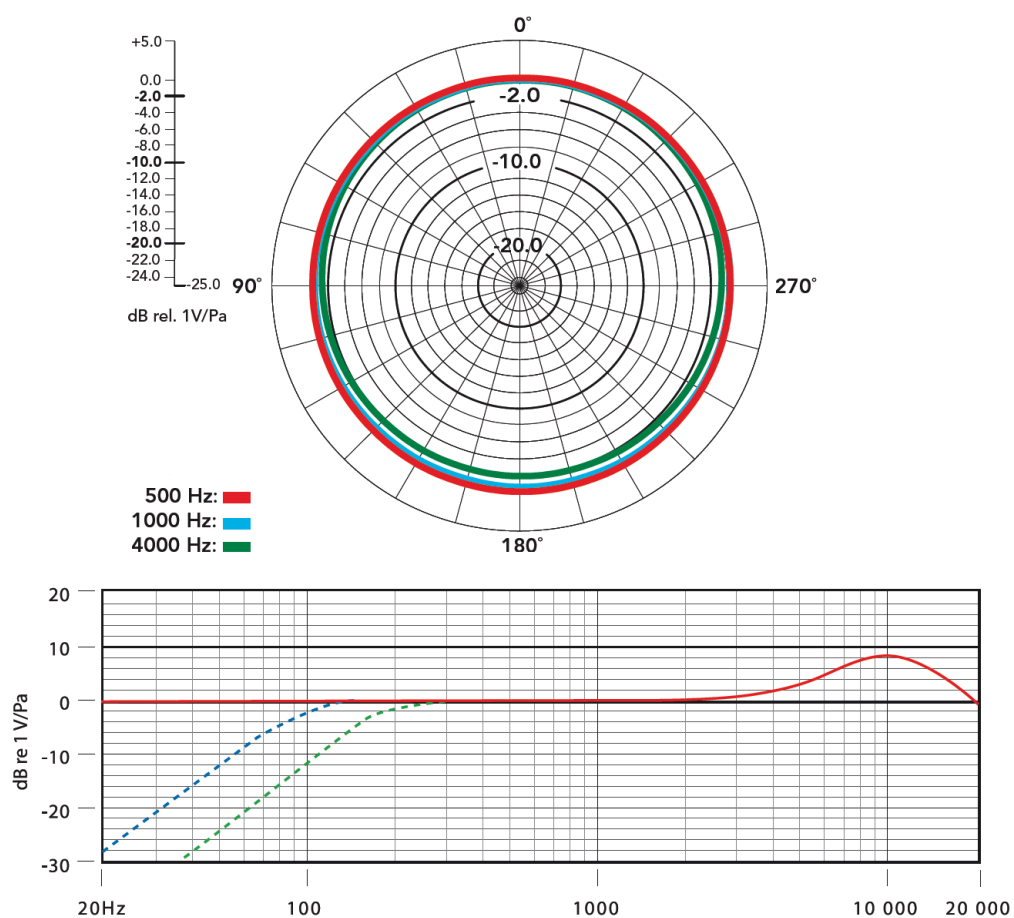


Obr. 6: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonů 4090 a 4091 od výrobce DPA Microphones [9].

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY



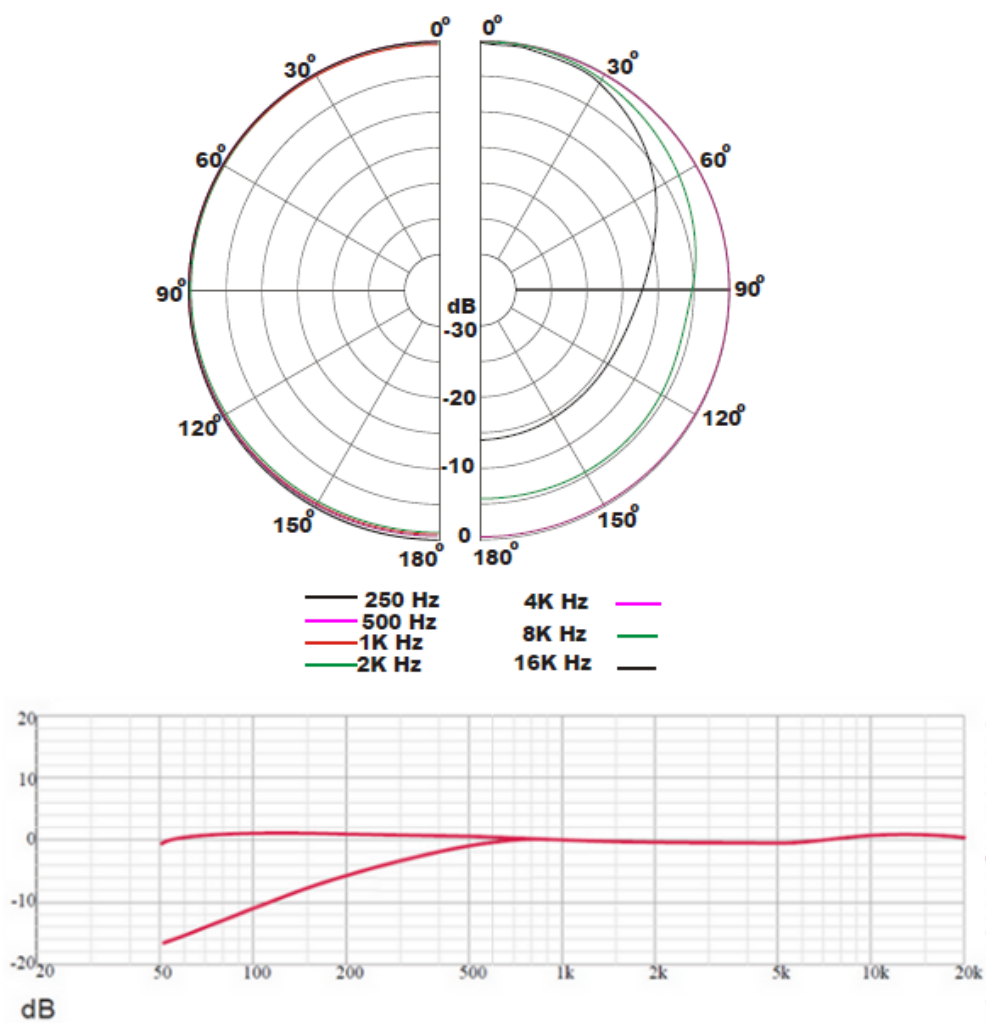
Obr. 7: Mikrofon NT55 od výrobce RØDE Microphones [10].



Obr. 8: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu NT55 od výrobce RØDE Microphones [10].



Obr. 9: Mikrofon C4 MkII od výrobce Studio projects [11].



Obr. 10: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu C4 MkII od výrobce Studio projects [11].



### 2.1.2 Mikrofony klopové – miniaturní

Mikrofony klopové – miniaturní se vyznačují velice malými rozměry, proto nejsou vhodné pro upevnění na běžný mikrofonní stojan. Tyto mikrofony je možné využít v akustických konstrukcích s požadavkem na velké množství mikrofonů. Například pro zástavbu do profilu pro měření akustických difuzorů. Výběr mikrofonů v této kategorii je velký. Většina mikrofonů je kulových, a tak je výběr závislý především na mechanickém provedení pro zástavbu a kvalitě mikrofonu jako takového.

#### **Mikrofon EMW Omnidirectional od výrobce Countryman Associate**

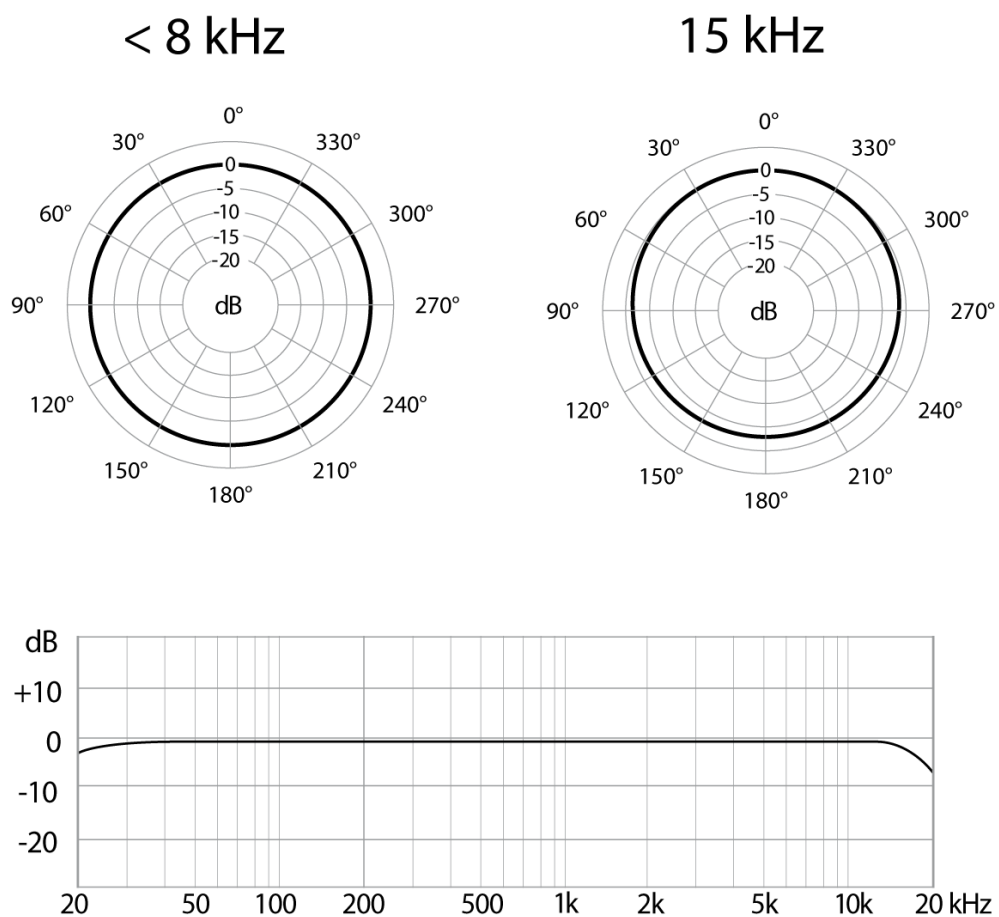
Countryman Associate je americká společnost specializující se na vývoj a výrobu mikrofonů pro studiovou a reportážní praxi [12]. Pro některé aplikace může být omezující ploché provedení mikrofonu (viz Obr. 11). Výrobce udává polární diagram mikrofonu EMW Omnidirectional je velice vyrovnaný i pro vysoké kmitočty (viz Obr. 12). Udávaná odchylka při frekvenci 15 kHz je přibližně -3 dB. Cena při zakoupení v zahraničí je přibližně 5 500 Kč [13].

#### **Mikrofon 4060 od výrobce DPA Microphones**

Mikrofon 4060 se vyznačuje výhodným mechanickým provedením (viz Obr. 13). Velká výhoda je vyrovnaná frekvenční charakteristika a téměř ideální směrová charakteristika (viz Obr. 14). Výrobce dokonce udává zvlnění frekvenční charakteristiky v závislosti na hloubce zástavby. Velká výhoda je vyrovnaná frekvenční charakteristika včetně perfektní kruhovitosti a nízkého zkreslení. Cena je 9 000 Kč [4].



Obr. 11: Mikrofon EMW Omnidirectional od výrobce Countryman Associate [13].



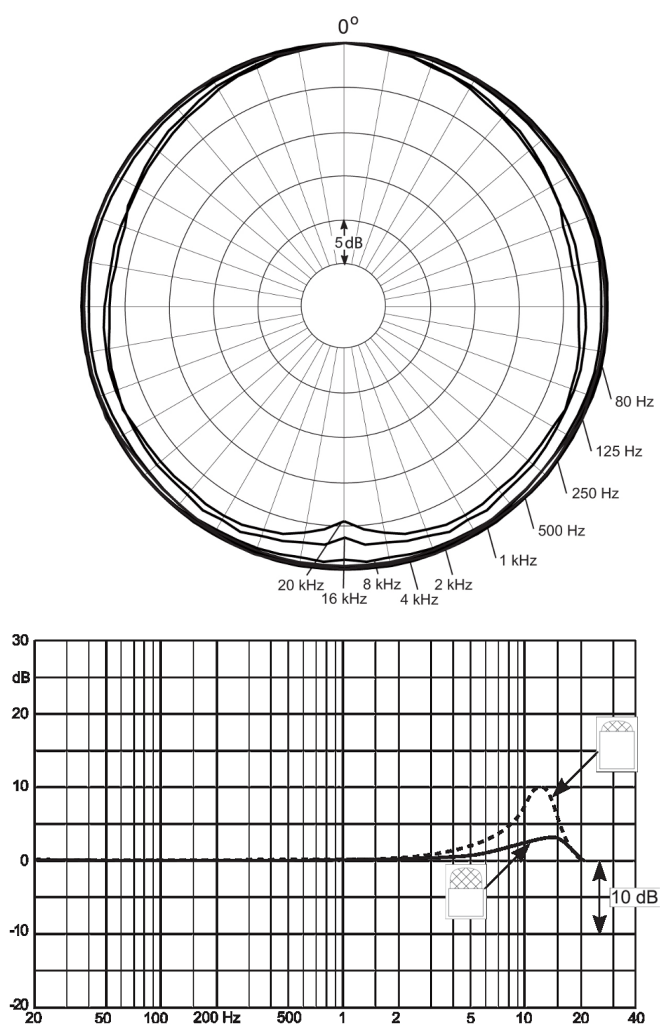
Obr. 12: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu EMW Omnidirectional od výrobce Countryman Associate [13].

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

---



Obr. 13: Mikrofon 4060 od výrobce DPA Microphones [14].



Obr. 14: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu 4060 od výrobce DPA Microphones [14].

### 2.1.3 Mikrofony používané pro akustická měření v profesionální praxi

Do této kategorie lze zařadit mikrofony konstrukce velice podobné měřicím mikrofonům. Tento druh mikrofonů je původně určen pro základní nastavení zvukové aparatury v různých akustických prostředích. Díky standardnímu průměru mikrofonní vložky lze mikrofon ověřit provozním kalibrátorem. Tyto mikrofony prodává každý větší výrobce profesionální ozvučovací techniky. Cenové rozpětí je od 500 Kč až do 15 000 Kč. Bohužel nejsou k mikrofonům většinou dostupné žádné parametry od výrobců.

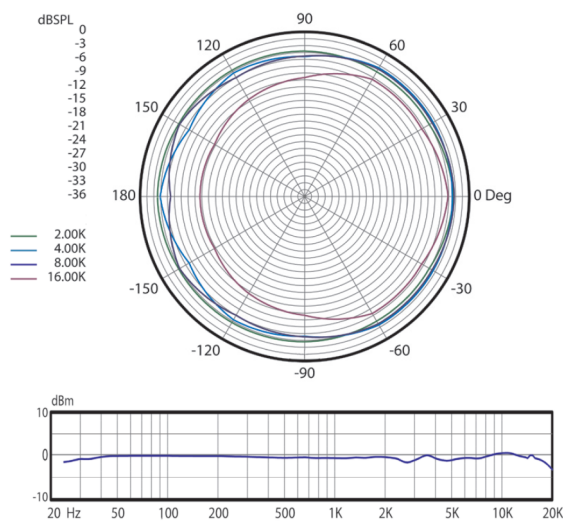
#### Mikrofon TR-40 od výrobce Audix Microphones

Americká společnost Audix Microphones je předním výrobcem mikrofonů a studiových monitorů [15]. Mikrofon TR-40 od této společnosti je ukončený standardním XLR konektorem (viz Obr. 15). Výrobce dodává naměřenou charakteristiku mikrofonu, jak frekvenční tak směrovou [16]. Charakteristiky mají výhodný průběh pro použití v akustických měřeních. Cena mikrofonu je příznivá 3 600 Kč.



Obr. 15: Mikrofon TR-40 od výrobce Audix Microphones [16].

## 2 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY



Obr. 16: Frekvenční a směrová charakteristika mikrofonu TR-40 od výrobce Audix Microphones [16].

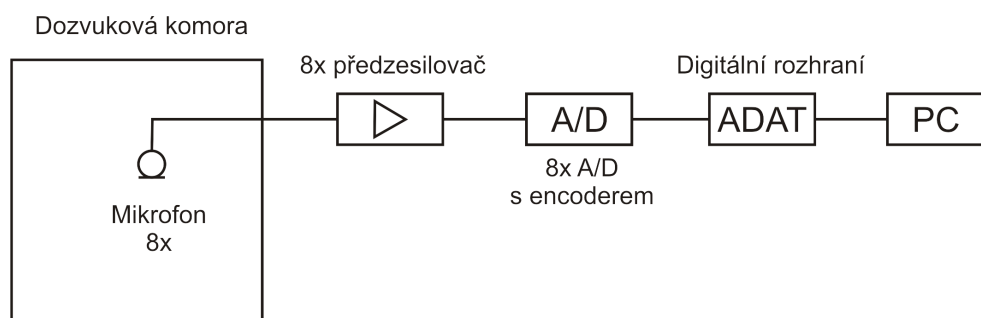
Tab. 1: Srovnání parametrů mikrofonů používaných v ozvučovací technice

Název	Druh	Ref. citlivost	Šumové pozadí	Max. SPL	Cena
		[mV/Pa]	[dBA]	[dB]	[Kč]
Behringer B5	Klasický	12,6	18	150	1 630
DPA 4003	Klasický	40	15	135	55 530
DPA 4090	Klasický	20	23	134	13 590
DPA 4091	Klasický	6	26	144	13 600
Rode NT55	Klasický	12	-	136	5 980
Studio proj. C4	Klasický	12	16	150	9 390
Countr. EMW	Klopový	10	24	130	5 560
DPA 4060	Klopový	20	23	134	9 000
Audix TR-40	Měřicí	18	17	128	3 600

### 3 Konstrukce vícekanálového mikrofonního předzesilovače

#### 3.1 Měřicí řetězec pro měření v dozvukové komoře

Měření v dozvukové komoře vychází z měření doby dozvuku dle ČSN EN 354. Obecně je při měření v dozvukové komoře nutný následující měřicí řetězec (viz Obr. 17).



Obr. 17: Blokové schéma měřicího řetězce pro obecné měření v dozvukové komoře.

Osm měřících mikrofonů s kulovou směrovou charakteristikou umístěných v dozvukové komoře převádí měřený akustický tlak na elektrický signál. Převedený signál je přiváděn do osmi mikrofonních předzesilovačů. Předzesilovače zesilují přivedený signál o úrovních desítek mV na úrovně vhodné pro konverzi A/D převodníky. Tyto předzesilovače zajišťují také fantomové napájení samotných mikrofonů. Osm digitálních signálů v S/PDIF formátu je multiplexováno na datový tok ADAT. Vhodným rozhraním v podobě speciální zvukové karty je ADAT signál přiveden do osobního počítače. Přenos dat na ADAT je realizován po optickém kabelu. V osobním počítači je možno zpracovat signál vhodným SW pro vyhodnocení měření.

#### 3.2 Výběr vhodného předzesilovače pro měření

Při hledání vhodného předzesilovače je nutno přihlídnout k několika faktorům:

- **kvalita vstupu** – zařízení musí mít kvalitní provedení vstupní části s nízkým harmonickým zkreslením, aby bylo možno zpracovávat i nízké úrovně signálů,
- **rozměry zařízení** – vhodná velikost zařízení je 483 mm × 44 mm s maximální hloubkou 400 mm, tento rozměr odpovídá takzvanému 1U provedení. Zařízení s takovými rozměry lze umístit do standardních transportních obalů nazývaných RACK, které umožňují snadnou a bezpečnou manipulaci se zařízením.
- **cena** – v neposlední řadě je důležitá cena samotného předzesilovače.

Kvalitní předzesilovač s dobře řešeným vstupním obvodem je například osmikanálový zesilovač Micstasy (viz Obr. 18) od německé společnosti RME [17]. Součástí Micstasy je i převod na ADAT/AES-EBU digitální rozhraní. Cena Micstasy je 98 000 Kč [6] a velikost 88 mm – tedy 2U.



Obr. 18: Osmikanálový zesilovač Micstasy od výrobce RME, který by byl na měření vhodný, ale je cenově nedostupný a nemá vhodné rozměry. [17].

### 3 KONSTRUKCE VÍCEKANÁLOVÉHO MIKROFONNÍHO PŘEDZESILOVAČE

S přihlédnutím k uvedeným nárokům bylo zvoleno řešení v podobě zakoupení cenově dostupného 1U mikrofonního předzesilovače s AD převodníky na výstupní formát ADAT. Jako vhodný kandidát na přestavbu se ukázal předzesilovač ADA8000 od společnosti Behringer (viz Obr. 19) s cenou kolem 4 000 Kč [18]. ADA8000 obsahuje 8 analogových vstupních i výstupních kanálů, jeden vstupní a jeden výstupní port ADAT a synchronizaci pomocí vnějšího signálu World Clock [18]. Při orientačním měření hodnoty zkreslení THD+N předzesilovače ADA8000 bylo zjištěno, že při slabých vstupních signálech jsou hodnoty zkreslení velmi vysoké (viz Obr. 20). Z tohoto důvodu bylo nutno navrhnout nový vstupní předzesilovač, který by upravil vysoké hodnoty zkreslení.

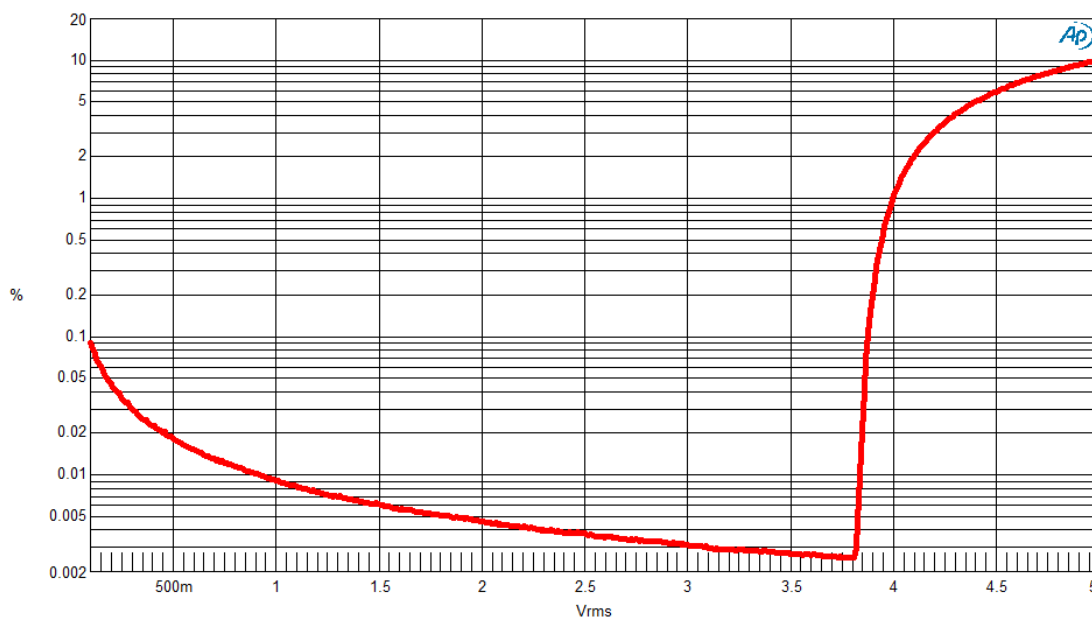


Obr. 19: Mikrofonní předzesilovač s AD převodníky ADA8000 od výrobce Behringer, který byl zvolen pro přestavbu [18].

#### 3.3 Snížení harmonického zkreslení předzesilovače

Problém vysokých hodnot THD+N pro slabé vstupní signály je způsoben konstrukcí vstupní části předzesilovače ADA8000 (viz Obr. 20). Původní vstupní část předzesilovače má velice jednoduchou konstrukci (viz Obr. 21). Řízení zisku v tomto předzesilovači je realizováno pomocí jednoduchého diferenciálního stupně a potenciometru. Ve vstupní části nejsou použity žádné přepětové ochrany. Stejně jako ve většině prodáváných předzesilovačů, ale i v mixážních pultech, jsou zde použity elektrolytické vazební kondenzátory. Tyto elektrolytické kondenzátory jsou hlavní



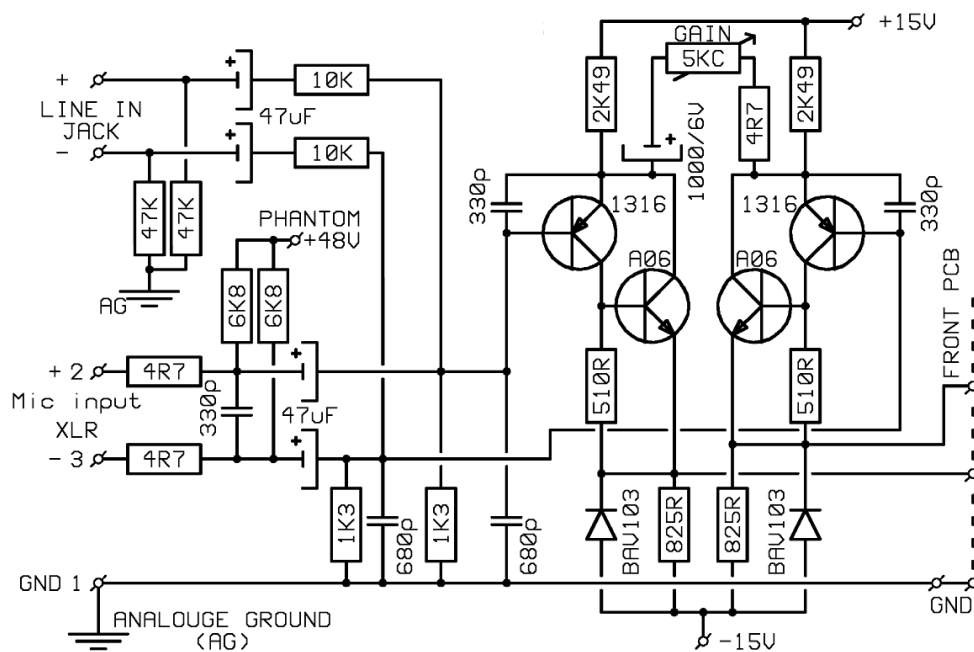


Obr. 20: Změřená závislost THD+N na úrovni vstupního napětí pro neupravený vstup předzesilovače ADA8000.

příčinou vysokých hodnot zkreslení. Charakteristika závislosti THD+N na velikosti střídavého napětí u těchto kondenzátorů je zcela nelineární. Pro aplikace vstupních mikrofonních předzesilovačů s možností fantomového napájení jsou předzesilovače tohoto typu vyloženě nevhodné, přesto používané. V literatuře se pro vazební kondenzátory doporučuje použití nepolarizovaných kondenzátorů [20] [21] [22], avšak nepolarizované kondenzátory o kapacitě 22 až 47  $\mu\text{F}$  a pracovním napětí 63 V jsou velice rozměrné, drahé a prakticky nedostupné.

V servisní dokumentaci profesionálních mixážních pultů od renomovaných značek (Amek, Calrec a SSL) lze nalézt dvě různá řešení problematiky vazebních kondenzátorů vstupních předzesilovačů:

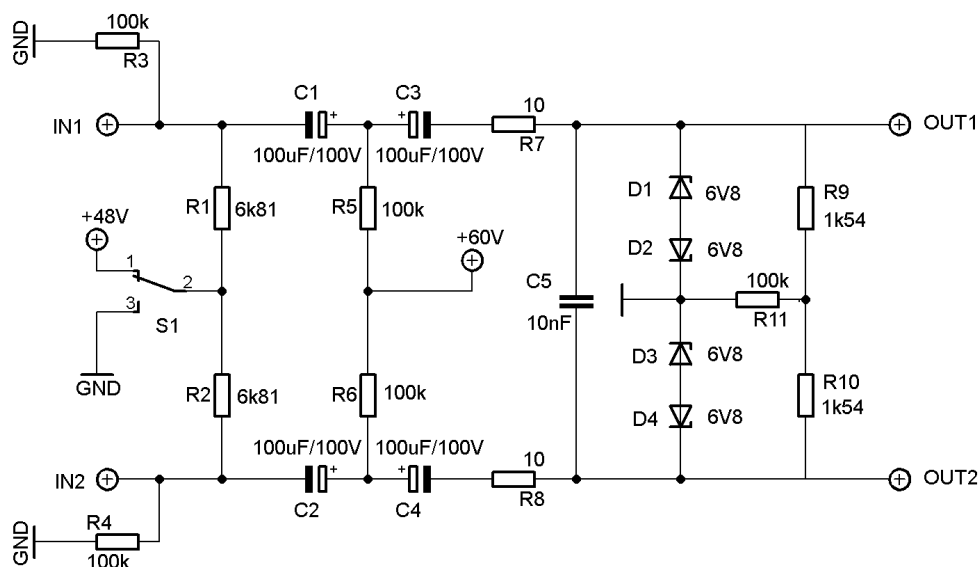
- použití oddělovacího linkového transformátoru – toto řešení je velmi často používané, avšak samotný transformátor je složitý jak na návrh, tak na výrobu a z toho se také odvíjí i jeho vysoká cena,



Obr. 21: Schéma původního vstupního dílu předzesilovače ADA8000 [19].

- zapojení, které je použito např. v mixážním pultu 82E149 od výrobce SSL, využívající elektrolytických kondenzátorů s trvalou polarizací (viz Obr. 22). V tomto zapojení jsou použity elektrolytické kondenzátory o hodnotě  $100\ \mu\text{F}$  a dovoleném pracovním napětí  $100\ \text{V}$ . Na kondenzátory je trvale přiváděno polarizační napětí  $60\ \text{V}$ . Trvalé polarizační napětí ve výsledku zajišťuje správnou polarizaci a lineární chování těchto elektrolytických kondenzátorů [23].

Obě tato řešení jsou rozměrově náročná a proto nepoužitelná do zástavbového prostoru předzesilovače ADA8000. Z tohoto důvodu bylo použito doporučené zapojení od výrobce [20], kde byly jako vazební kondenzátory použity nepolarizované kondenzátory. Vstupní impedance byla zvolena  $2\ \text{k}\Omega$  a vazební kondenzátory o hodnotě  $15\ \mu\text{F}$ . Kondenzátory této kapacity jsou již dostupné v nepolarizovaném svitkovém provedení.

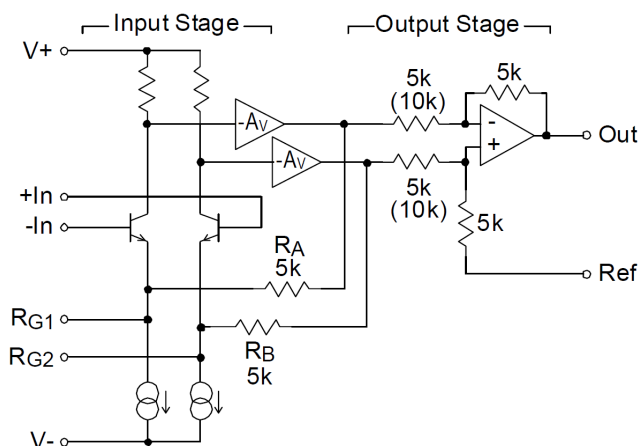


Obr. 22: Schéma vstupní části mixážního pultu 82E149 od výrobce SSL [23].

#### 3.4 Návrh nové vstupní části předzesilovače ADA8000

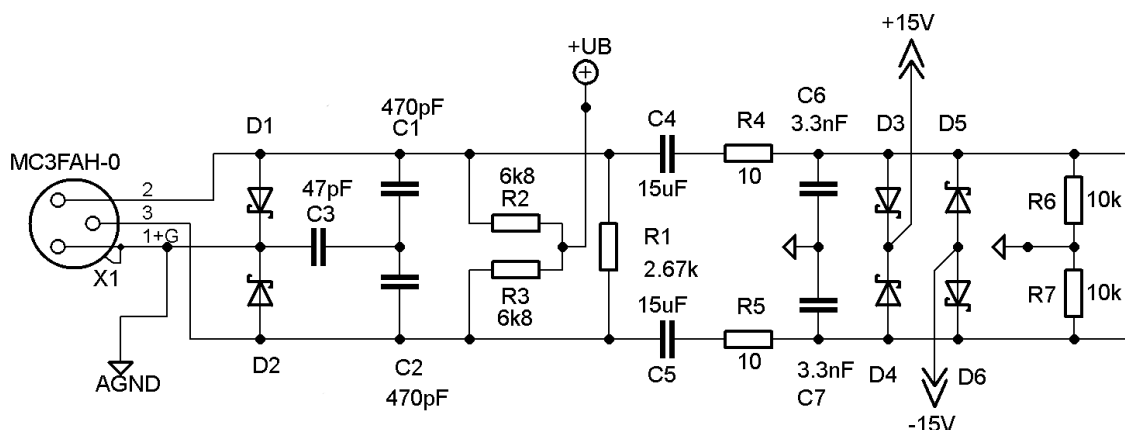
Jako základ pro nový vstupní předzesilovač byl zvolen kvalitní komerčně dostupný integrovaný obvod od společnosti THAT Corp. Obvod THAT1512 vychází z obvodu SSM2017 od společnosti Analog Devices, který se již řadu let nevyrábí. Blokový diagram integrovaného obvodu THAT1512 je zobrazen na Obr. 23. Existuje ještě alternativa tohoto obvodu od společnosti Texas Instruments INA217, avšak výrobce THAT u svých obvodů uvádí, že každý vyrobený obvod je testován na výrobní lince a donastaven před zapouzdřením – což poukazuje na vysokou kvalitu jednotlivých obvodů. Výrobce je obvod THAT1512 označován jako nízkošumový, monolitický přístrojový zesilovač s nízkým zkreslením. Zpětná vazba obvodu je záporná proudová, to zajišťuje dobré dynamické vlastnosti obvodu v celém rozsahu zesílení, které lze nastavit pomocí jednoho rezistoru.

### 3 KONSTRUKCE VÍCEKANÁLOVÉHO MIKROFONNÍHO PŘEDZESILOVAČE



Obr. 23: Blokový diagram obvodu THAT1512 [20].

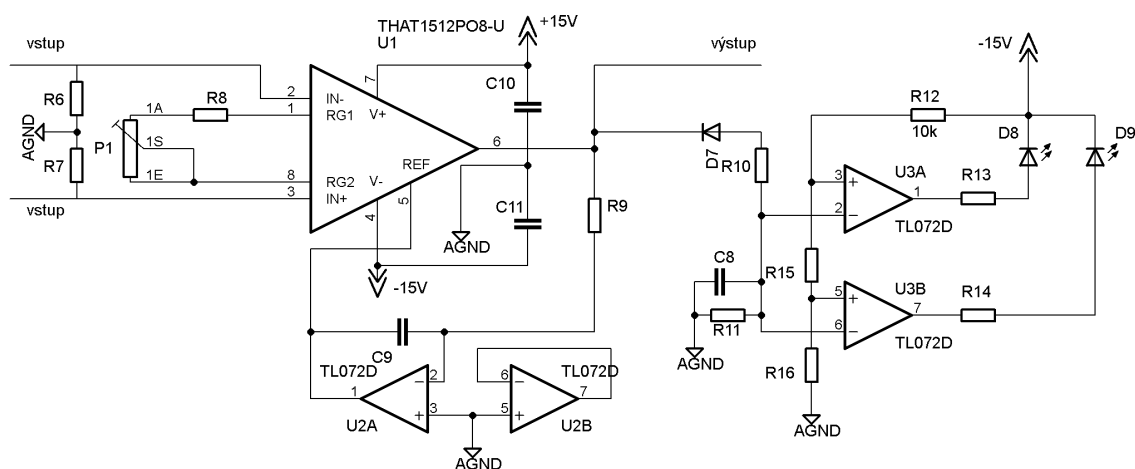
Schéma zapojení nové vstupní části předzesilovače je zobrazeno na Obr. 24. Vstupní část předzesilovače vychází z doporučeného zapojení obvodu THAT1512 od výrobce [20]. Na vstupu je použit konektor XLR, za kterým jsou v těsné blízkosti zapojeny ochranné prvky ESDA pro napětí 51 V. Ochranné prvky ESDA jsou vylepšené transily, které mají oproti běžným transilům strmější náběžnou hranou a nižší parazitní kapacitu. Trojice kondenzátorů C1, C2 a C3 omezuje vstupní mezní frekvenci a snižuje vstupní rušení. Vstupní impedance předzesilovače je nastavena rezistorem R1 o velikosti 2,67 k $\Omega$ . Fantomové napájení pro mikrofony je přiváděno do bodu +UB. Rezistory R2 a R3 zajišťují omezení maximálního proudu, který je přiveden do mikrofonů. Střídavou vazbu zajišťují vazební kondenzátory C4 a C5, které jsou v nepolarizovaném provedení s dielektrikem z PET fólie a mají maximální pracovní napětí 63 V. Při připojení polarizačního napětí na bod +UB dochází k nabíjení vazebních kondenzátorů. Z počátků je nabíjení doprovázeno velkým proudem, který se uzavírá přes další sadu ochranných prvků, kterými jsou diody D3 až D6. Pro omezení nabíjecího proudu jsou v sérii zapojeny rezistory R4 a R5 o hodnotě 10  $\Omega$ . Pro definování impedance mezi signálovými vodiči a zemním potenciálem jsou použity rezistory R6 a R7.



Obr. 24: Schéma zapojení nové vstupní části předzesilovače.

Na Obr. 25 je schéma zapojení nové výstupní části předzesilovače. Zesílení vstupního předzesilovače (viz Obr. 24) je řízeno pomocí potenciometru P1 zapojeného mezi vstupy RG1 a RG2. Potenciometr je zde použit místo rezistoru, aby bylo možno plynule řídit zesílení. Při použití potenciometru je nutné použít vazební elektrolytický kondenzátor o hodnotě  $1000\ \mu\text{F}$ , nebo tzv. DC servo zapojené do vývodu REF integrovaného obvodu. DC servo slouží k udržení minimální stejnosměrné složky na výstupu předzesilovače. Je to zapojení invertujícího operačního zesilovače U2A s velice nízkou mezní frekvencí, která se pohybuje v řádu jednotek Hz.

Na výstupní části obvodu THAT1510 se detekuje úroveň signálu pomocí dvojitého operačního zesilovače (U3A a U3B), který je zapojen jako komparátor. První komparátor U3A detekuje úroveň signálu těsně před limitní hodnotou A/D převodníku (-1 dBFS). Tato indikace je důležitá pro správné nastavení zesílení předzesilovače. V případě dosažení limitace vstupu A/D převodníku nastává silné zkreslení signálu. Druhý komparátor U3B indikuje přítomnost signálu o úrovni přibližně -20 dBu. Na oba dva výstupy komparátorů jsou připojeny LED indikační diody, které jsou vyvedeny na čelní panel předzesilovače.



Obr. 25: Schéma zapojení nové výstupní části předzesilovače.

## 3.5 Předzesilovač ADA8000

V předzesilovači ADA8000 od výrobce Behringer je použito několik klíčových obvodů pro převod analogového signálu do digitální podoby signálu ADAT.

Za nově navrženým vstupním předzesilovačem (viz Kap. 3.4) následuje dvojice operačních zesilovačů, která upravuje úroveň vstupního signálu pro A/D převodník.

### 3.5.1 A/D převodník pro předzesilovač ADA8000

Z konstrukce dostupných předzesilovačů bylo zjištěno, že výrobce využívá různá zapojení pro vstupní A/D a výstupní D/A převodníky.

Původní, starší verze předzesilovače, používá A/D převodník AL1101 od výrobce Wavefront. Společnost Wavefront dodává zákaznické obvody pro společnost TASCAM [24]. Schéma tohoto předzesilovače, který používá A/D převodník od společnosti Wavefront je na Obr. 26. Převodník AL1101 je  $\Sigma - \Delta$  1 bitový převodník s 64 násobným převzorkováním ve dvojitěm provedení. Parametry A/D převodníku jsou:

- rozlišení převodníku – 24-bit,
- vzorkovací frekvence – od 40 do 50 kHz režim „Single mode“,

- dynamický rozsah – 107 dBA
- celkové harmonické zkreslení (THD) při úrovni -1 dBFS – 0,002 %.

Výhodou tohoto obvodu je diferenciální vstup snižující indukované rušení do vstupu převodníku. Výstupní formát dat je S/PDIF stereo datový tok.

V nové verzi předzesilovače ADA8000 došlo k přepracování zapojení včetně použití jiného A/D převodníku. Nová verze používá převodník CS4270 od výrobce CIRRUS LOGIC. CS4270 je dvojitý převodník s konverzí vstupního A/D a výstupního D/A převodníku. A/D parametry jsou velice podobné jako u převodníku AL1101:

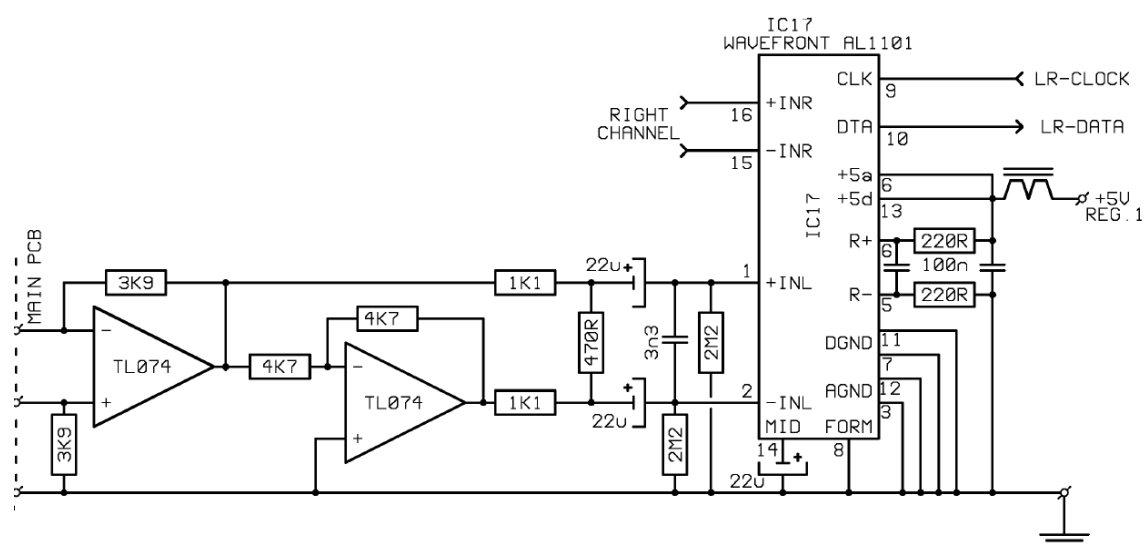
- rozlišení převodníku – 24-bit,
- vzorkovací frekvence – od 44 do 192 kHz režim „Single, Double a Quad speed mode“,
- dynamický rozsah – 107 dBA,
- celkové harmonické zkreslení (THD) při úrovni -1 dBFS – 0,0017 %.

Zde je použit pouze režim „Single mode“. Tento převodník je zároveň použit pro D/A převod. Převodník je vybaven pouze nediferenciálními analogovými vstupy. Výstupní formát dat je opět S/PDIF stereo datový tok.

Na výstupu každého ze čtveřice A/D převodníků je generován S/PDIF signál, který obsahuje dva kanály. Tyto S/PDIF signály jsou dále zpracovány v encoderu. Encoder zajišťuje sloučení signálů a jejich převedení na formát ADAT. Zde je použit obvod opět od společnosti Wavefront a to encoder AL1401AG (viz Obr. 27). Jedná se o monolitický encoder pro datovou čtveřici stereo S/PDIF signálu. Výstup z obvodu je datový tok pro ADAT, který je připojen přímo na budič optického kabelu. Každý ADAT signál obsahuje osm kanálů o vzorkovací frekvenci 48 kHz. . Encoder umožňuje vložení uživatelských dat do ADAT dat. ADAT formát umožňuje zasílání uživatelských dat jako jsou časový kód (timecode), MIDI data a indikace S/Mux – režimu převodníku [26].

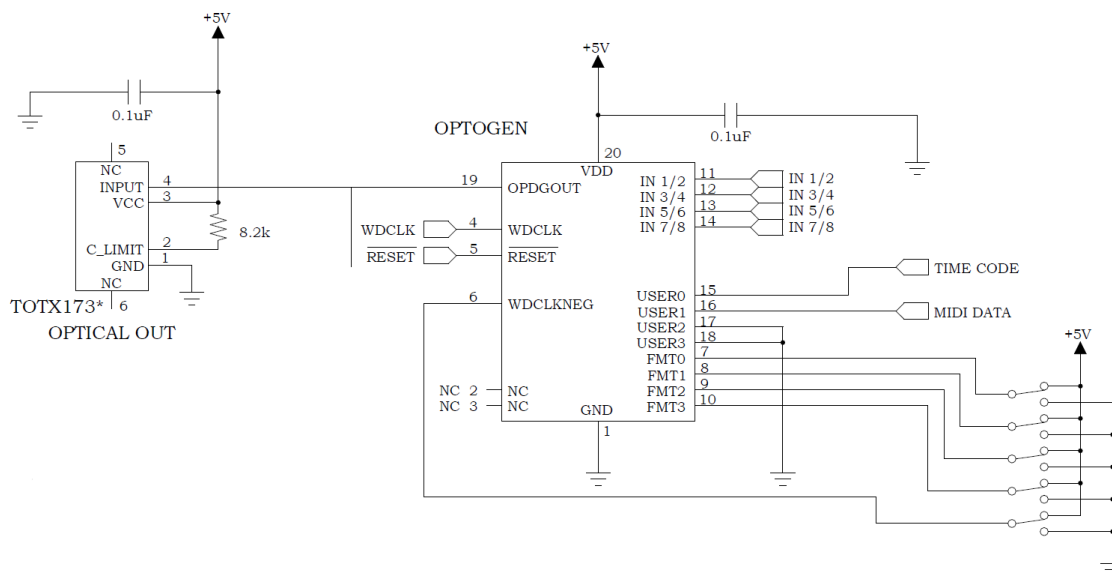
### 3 KONSTRUKCE VÍCEKANÁLOVÉHO MIKROFONNÍHO PŘEDZESILOVAČE

V předzesilovači ADA8000 je synchronizace všech A/D převodníků řešena pomocí synchronizačního signálu. Tento signál je možno generovat interním generátorem o frekvencích 44,1 kHz a 48 kHz. Další možností jak synchronizovat převodníky je s použitím externí synchronizace po ADAT vstupu nebo po vstupu WorldClock. Interní synchronizační signál je generován jednoduchým oscilátorem bez teplotní stabilizace.



Obr. 26: Schéma zapojení předzesilovače ADA8000 s původním A/D převodníkem AL1101 od výrobce Wavefront [19].





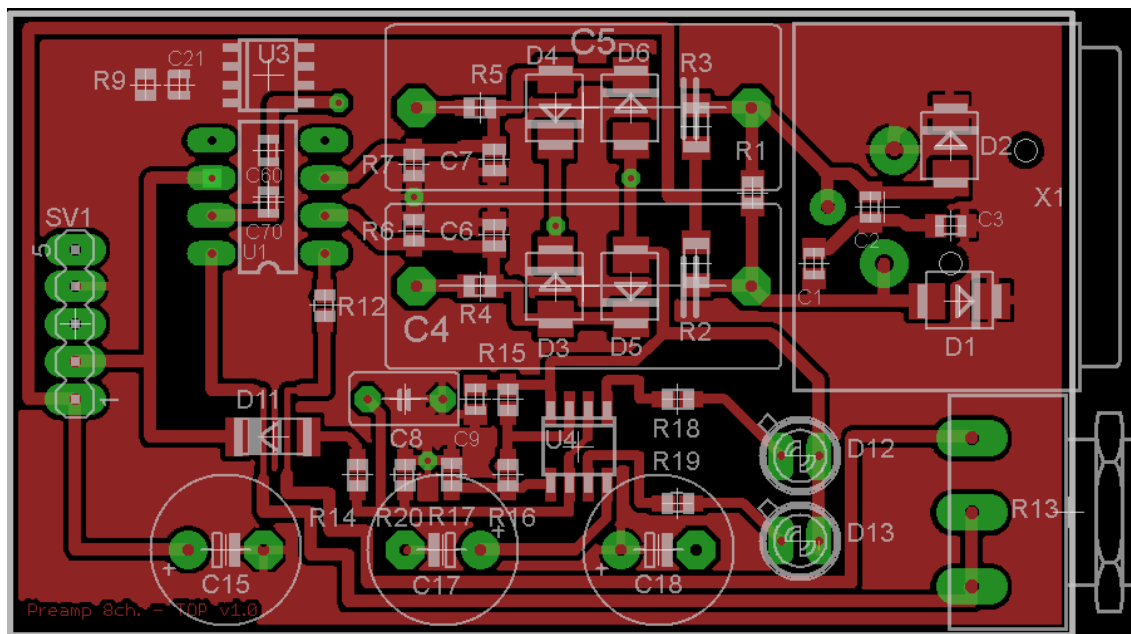
Obr. 27: Schéma zapojení encoder AL1401AG, dle technické dokumentace od společnosti Wavefront [24].

## 3.6 Mechanické řešení předzesilovače ADA8000

### 3.6.1 Deska plošných spojů pro nově navržený předzesilovač

Deska plošných spojů byla navržena ve smíšené součástkové základně, tzn. za použití jak klasických pouzder tak i pouzder pro povrchovou montáž. Klasická pouzdra byla použita pro integrovaný obvod THAT1512, vazební a filtrační kondenzátory, zbylé součástky jsou v provedení pro povrchovou montáž. Pro vstup signálu je zvolen XLR konektor od společnosti Neutrik, který je dostatečný pro zajištění mechanické odolnosti a zajišťuje také spolehlivý kontakt. Regulaci zesílení zajišťuje potenciometr, který je umístěn přímo na čelním panelu. Konstrukce nově navrženého předzesilovače je poměrně stísněná, protože vazební kondenzátory jsou rozměrné. Z prostorových důvodů musí být šířka DPS maximálně 45 mm. Pro jeden kanál byla v programu Eagle v5.02 navržena DPS. V celkovém mechanickém řešení předzesilovače bude na jedné

DPS umístěno 8 modulů nově navržených předzesilovačů.



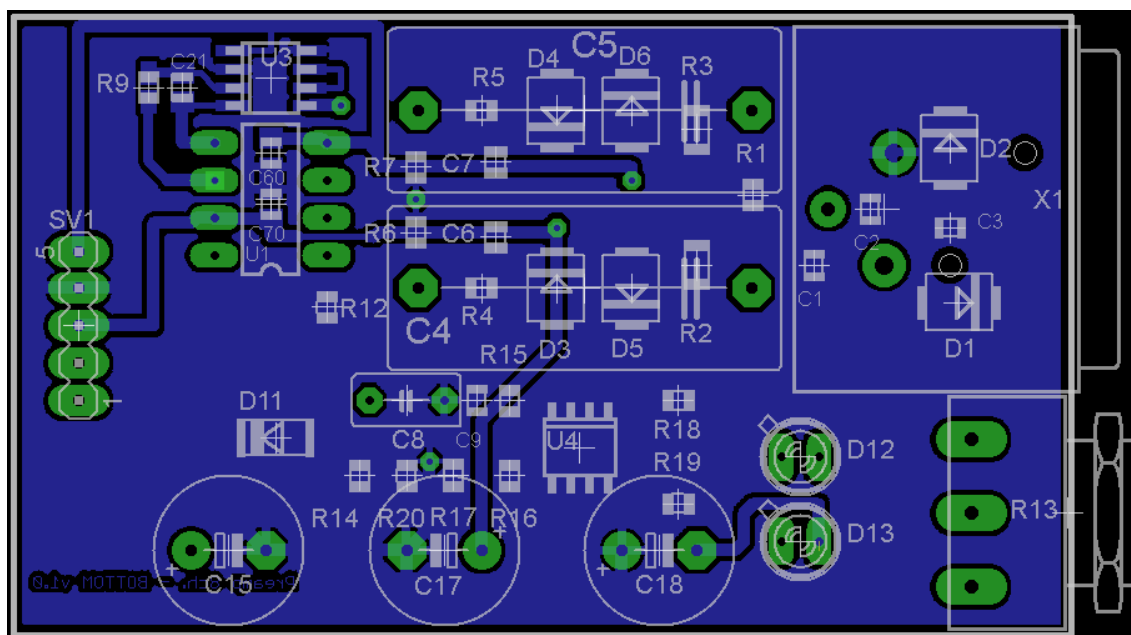
Obr. 28: Navržená DPS nového předzesilovače, vrchní vrstva.

#### 3.6.2 Celkové mechanické řešení nového předzesilovače

Mechanická konstrukce předzesilovače je tvořena z čelního panelu, spodní části s bočnicemi a vrchní částí. Na čelním panelu je uchycena DPS nového předzesilovače.

Ke spodní části konstrukce je uchycen toroidní síťový transformátor, DPS s A/D a D/A převodníky, zdroji symetrického napájení 15 V, nesymetrickým zdrojem 5 V pro digitální část a zdrojem pro fantomové napájení 48 V. Propojení mezi DPS nového předzesilovače a stávající DSP s A/D a D/A převodníky je zajištěno pěti samostatnými vodiči v jednom konektoru, pro každý kanál, celkem tedy 8 konektorů.

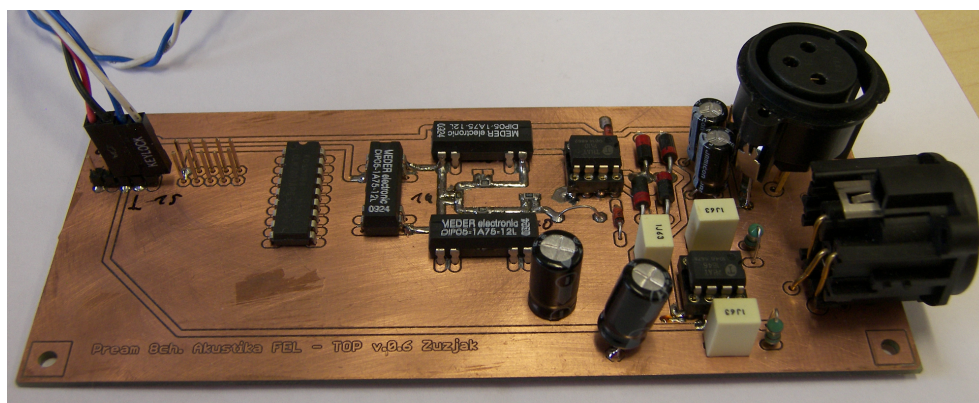
Nová DPS vstupní části předzesilovače nahrazuje celou původní DSP uchycenou v čelním panelu. DPS nového předzesilovače je připojena pomocí stávajících konektorů z původní DPS předzesilovače.



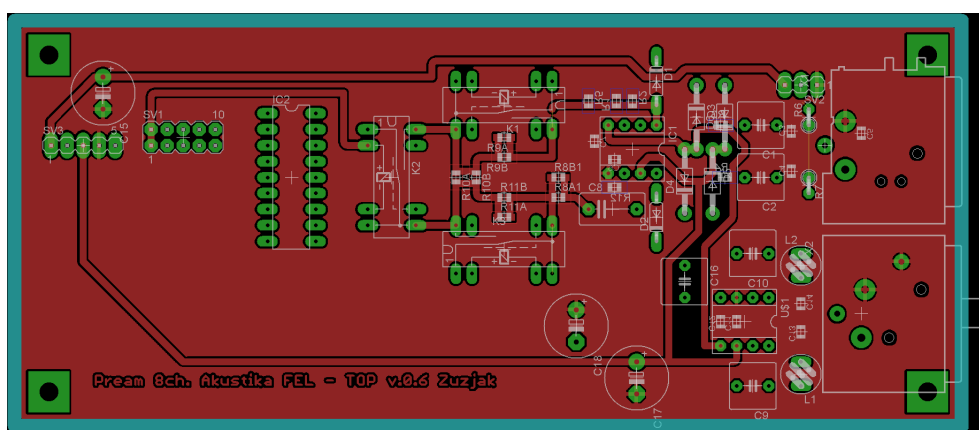
Obr. 29: Navržená DPS nového předzesilovače, spodní vrstva.

### 3.7 Realizace prototypu předzesilovače

Předzesilovač byl realizován jako prototyp na prototypové DPS, viz Příloha 1. Na prototypu předzesilovače bylo ověřeno chování různých vstupních vazeb, které jsou uvedeny v Kap. 3.3. Kromě řízení zesílení potenciometrem bylo testováno také skokové přepínání zesílení předzesilovače pomocí signálových relé. Řešení řízení zesílení pomocí skokového přepínání se prokázalo jako plně funkční a výhodné pro možnost řízení všech kanálů zároveň. Toto řešení je však prostorově náročné, a proto nebylo použito při konstrukci nového předzesilovače.



Obr. 30: Fotografie prototypu předzesilovače.

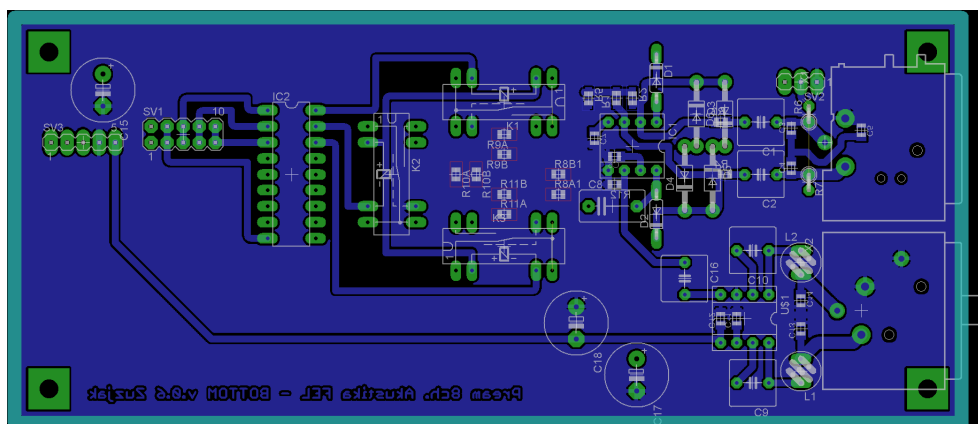


Obr. 31: Návrh DPS prototypu předzesilovače, vrchní vrstva.

#### 3.7.1 Naměřené parametry prototypu předzesilovače

Cílem této diplomové práce bylo zkonstruovat prototyp předzesilovače, který bude dosahovat nízkého zkreslení v celém pásmu použití a bude cenově dostupný.

Parametry zkonstruovaného prototypu předzesilovače (viz Obr. 33 a 34) byly měřeny pomocí audio-analyzátoru AP2700 od společnosti Audio Precision [25]. Jedná se o špičkový měřicí přístroj s galvanicky oddělenými vstupy a výstupy.



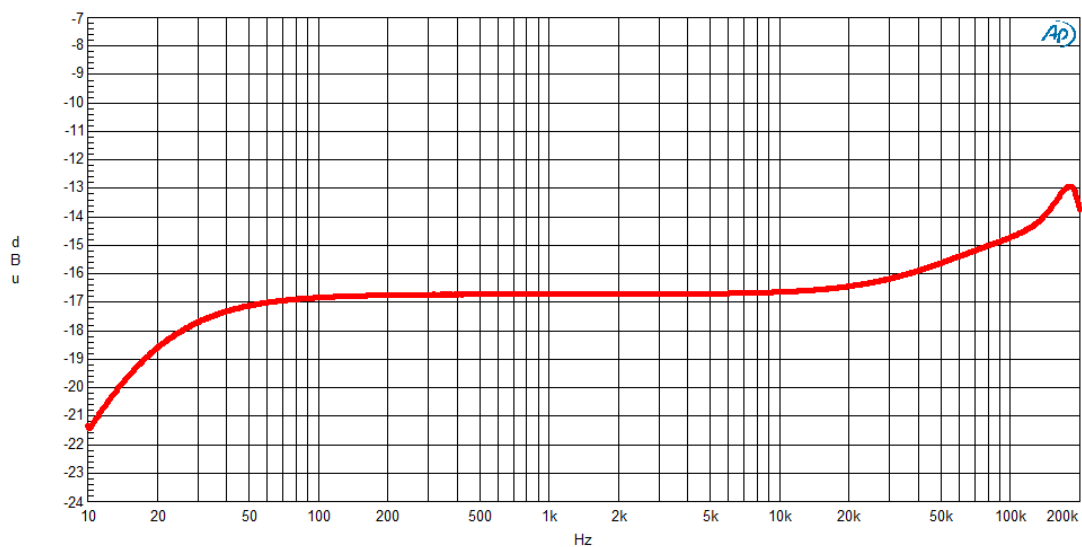
Obr. 32: Návrh DPS prototypu předzesilovače, spodní vrstva.

#### Parametry prototypu předzesilovače

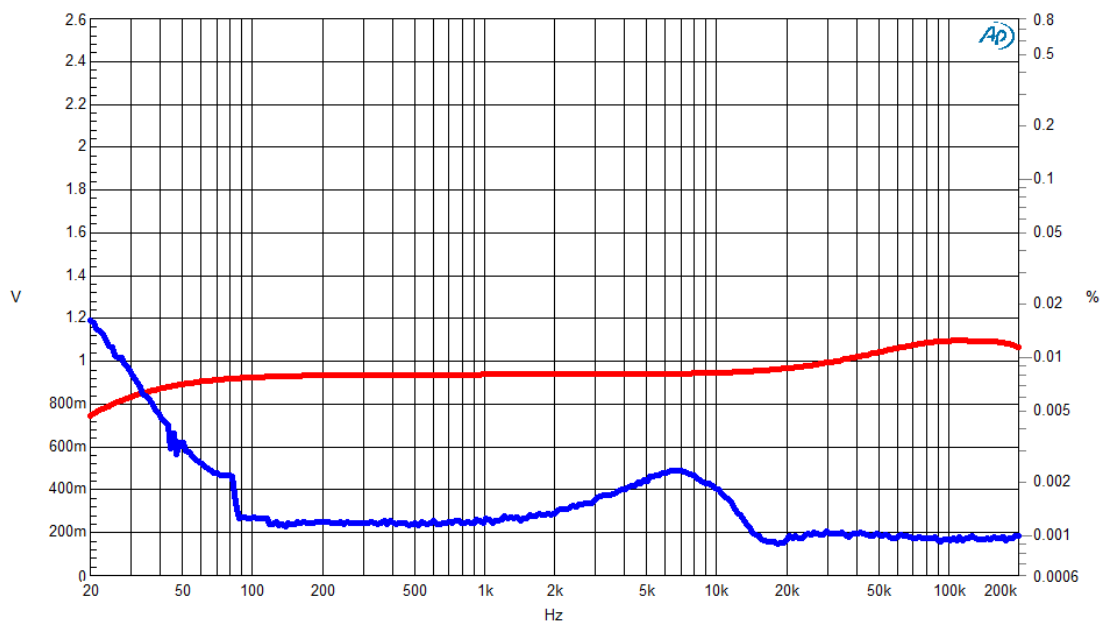
- zesílení předzesilovače nastaveno na  $100\times$ ,
- odchylka ve frekvenčním pásmu 20 Hz až 20 kHz – -1,6 dB až +0,3 dB,
- minimální hodnota harmonického zkreslení THD+N – 0,001 %,
- maximální hodnota THD+N na frekvenci 20 Hz – 0,18 %,
- ostatní parametry zůstávají stejné, jako udávané výrobcem Behringer [18].

Celkové náklady na konstrukci nového osmikanálového předzesilovače budou okolo 4 000 Kč za součástky. 4 000 Kč stojí samotný předzesilovač ADA8000. Celkové náklady za jeden upravený předzesilovač budou tedy okolo 9 000 Kč. Za tuto cenu není možné zakoupit jiný podobný předzesilovač s převodníky na ADAT, který dosahuje naměřených parametrů.

### 3 KONSTRUKCE VÍCEKANÁLOVÉHO MIKROFONNÍHO PŘEDZESILOVAČE



Obr. 33: Amplitudově frekvenční charakteristika nově zkonstruovaného prototypu předzesilovače.



Obr. 34: Celkové harmonické zkreslení THD+N nově zkonstruovaného prototypu předzesilovače. Modře je znázorněna hodnota THD+N, červeně amplituda výstupního signálů.

## 4 Závěr

Navržená úprava mikrofonních předzesilovačů v A/D převodnících od společnosti Behringer ADA8000 přináší výrazné zlepšení technických parametrů přístroje, především pak výrazné snížení zkreslení. Takto upravené zařízení si zachovává vynikající poměr ceny a technických parametrů a je pak využitelné i pro účely měření, nejen pro ozvučovací techniku, pro kterou je původně určeno.

Upravený převodník ADA8000 bude využíván především v dozvukové komoře akustických laboratoří FEL ZČU. Připravuje se náhrada používaných měřících mikrofonů pro difúzní pole typ BK 4943 od společnosti Brüel & Kjær, za mikrofony NT55 od společnosti RØDE, což jsou původně mikrofony určené pro použití v profesionální zvukové technice. Pro použití v dozvukové komoře mají vyhovující parametry, jejich cena je však proti specializovaným měřícím mikrofonům téměř o řád nižší. V dozvukové komoře tak bude možné použít více mikrofonů ve velkém počtu měřících bodů v trvalé instalaci, takže bude významně snížena pravděpodobnost chyby vznikající nepřesným umístěním mikrofonů.

Další budoucí využití upraveného převodníku ADA8000 se předpokládá v mobilním měřícím systému pro měření difuzity odrazivých prvků. Pro toto měření je potřeba velké množství vstupních kanálů (až 48), což by konvenční technikou se standardními měřícími mikrofony a akustickým analyzátozem bylo z cenových důvodů nerealizovatelné. Zde budou jako měřící mikrofony použity miniaturní všesměrové klopové mikrofony, které vyhovují svým dynamickým i frekvenčním rozsahem. Cena celého systému bude řádově nižší, než řešení s analyzátozem a běžnými měřícími mikrofony.

Upravený převodník ADA8000 je v současné době k dispozici ve formě prototypu, na kterém jsou zkoušeny i další, především mechanické úpravy.

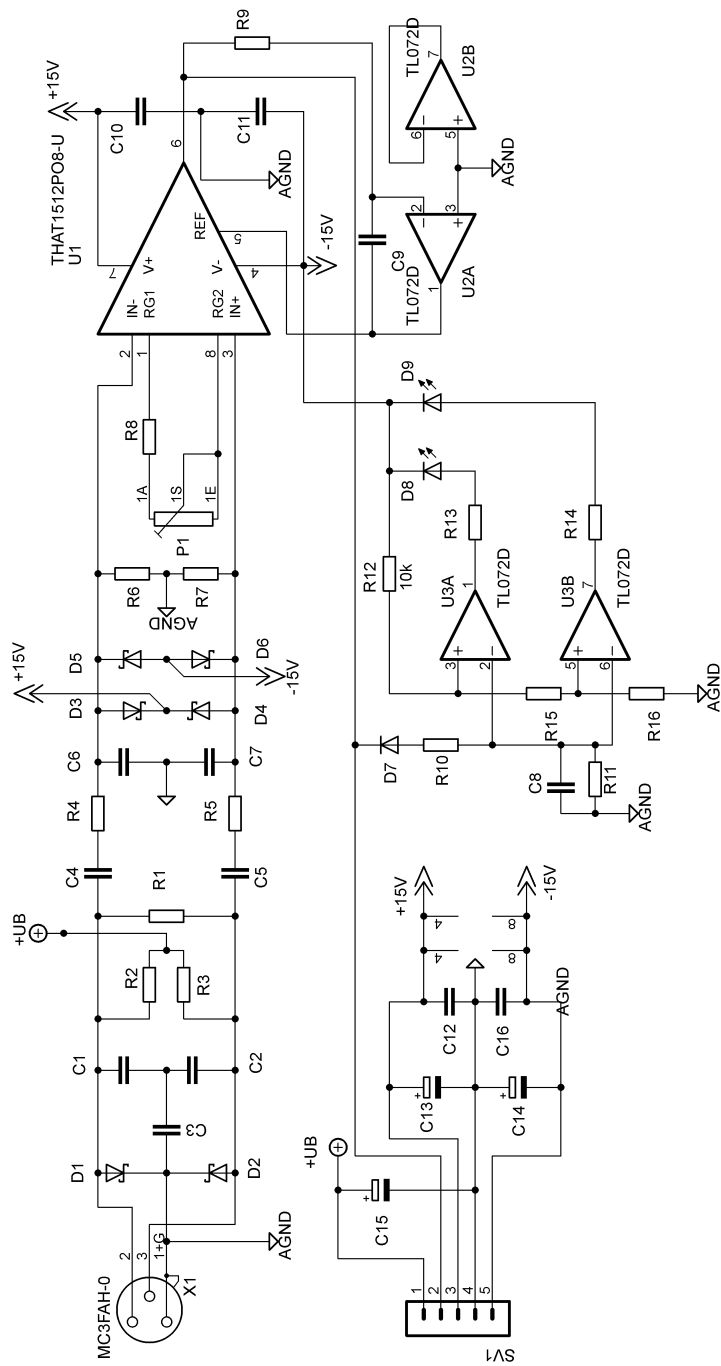
## Seznam příloh

Příloha 1: Celkové schéma nového předzesilovače

Příloha 2: Seznam součástí



# Příloha 1



Obr. 35: Celkové schéma nového předzesilovače

## Příloha 2

Název	Hodnota	Pouzdro
C1	470 pF/100 V	keramický,SMD 0805
C2	470 pF/100 V	keramický,SMD 0805
C3	47 pF/100 V	keramický,SMD 0805
C4	15 $\mu$ F/63 V	foliový, RM 22,5
C5	15 $\mu$ F/63 V	foliový, RM 22,5
C6	3,3 nF/100 V	keramický,SMD 0805
C7	3,3 nF/100 V	keramický,SMD 0805
C8	1 $\mu$ F/63 V	foliový, RM 10,5
C9	100 nF/63 V	keramický,SMD 0805
C10	100 nF/63 V	keramický,SMD 0805
C11	100 nF/63 V	keramický,SMD 0805
C12	100 nF/63 V	keramický,SMD 0805
C13	220 $\mu$ F/25 V	elektrolytický,RM 10,5
C14	220 $\mu$ F/25 V	elektrolytický,RM 10,5
C15	100 $\mu$ F/63 V	elektrolytický,RM 10,5
D1	ESDA, 51 V	SMB
D2	ESDA, 51 V	SMB
D3	MBRS130LT3	SMB
D4	MBRS130LT3	SMB
D5	MBRS130LT3	SMB
D6	MBRS130LT3	SMB
D7	1N4148	SMB
D8	LED	3 mm
D9	LED	3 mm

Název	Hodnota	Pouzdro
R1	2,67 k $\Omega$	SMD 0805
R2	6,8 k $\Omega$	SMD 0805
R3	6,8 k $\Omega$	SMD 0805
R4	10 $\Omega$	SMD 0805
R5	10 $\Omega$	SMD 0805
R6	10 k $\Omega$	SMD 0805
R7	10 k $\Omega$	SMD 0805
R8	5,1 $\Omega$	SMD 0805
R9	1 M $\Omega$	SMD 0805
R10	10 k $\Omega$	SMD 0805
R11	5,11 k $\Omega$	SMD 0805
R12	10 k $\Omega$	SMD 0805
R13	5,11 k $\Omega$	SMD 0805
R14	5,11 k $\Omega$	SMD 0805
R15	4,75 k $\Omega$	SMD 0805
R16	51,1 $\Omega$	SMD 0805
P1	2 k $\Omega$ LIN	potenciometr panelový
U1	THAT1512	DIL8
U2	TL072	SO08
U3	TL072	SO08
X1	MC3FAH	do DSP

## Použitá literatura

- [1] *Informace o společnosti Behringer* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.behringer.com/EN/Home.aspx>.
- [2] *Elektronický obchod společnosti Prodance* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://eshop.prodance.cz/>.
- [3] *Informace o společnosti DPA Microphones* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.dpamicrophones.com/en>.
- [4] *Elektronický obchod společnosti Audiopro, s.r.o* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.audiopro.cz/produktovy-katalog/>.
- [5] *Informace o společnosti RØDE Microphones* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.rodemic.com/>.
- [6] *Elektronický obchod společnosti DISK Multimedia, s.r.o* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.disk.cz/disk/producer.csp?CSPCHD=00000000000043-mgyc8K000000CPSDJjnJzkBPEc5oHBqAFw-/>.
- [7] *Uživatelská dokumentace mikrofonu B-5* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.behringer.com/assets/B-5%20\(OEM\)\\_P0224\\_S\\_EN.pdf](http://www.behringer.com/assets/B-5%20(OEM)_P0224_S_EN.pdf).
- [8] *Uživatelská dokumentace mikrofonu DPA 4003* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.dpamicrophones.com/en/products.aspx?c=item&category=188&item=24008#specifications>.
- [9] *Uživatelská dokumentace mikrofonu DPA 4090* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.dpamicrophones.com/en/products.aspx?c=Item&category=188&item=24065#specifications>.
- [10] *Uživatelská dokumentace mikrofonu RØDE NT55* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.rodemic.com/download/nt55-s\\_datasheet.pdf](http://www.rodemic.com/download/nt55-s_datasheet.pdf).

- [11] *Uživatelská dokumentace mikrofonu Studio Projects C4 MkII* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.studioprojects.com/pdf/c\\_series\\_manual.pdf](http://www.studioprojects.com/pdf/c_series_manual.pdf).
- [12] *Informace o společnosti Countryman Associate* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.countryman.com/>.
- [13] *Uživatelská dokumentace mikrofonu Countryman EMW* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.countryman.com/download/EMW%20Lavalier%20data-sheet.pdf>.
- [14] *Uživatelská dokumentace mikrofonu DPA 4060* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.dpamicrophones.com/en/products.aspx?c=item&category=193&item=24035#specifications>.
- [15] *Informace o společnosti Audix Microphones* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.audixusa.com/index\\_12.shtml](http://www.audixusa.com/index_12.shtml).
- [16] *Uživatelská dokumentace mikrofonu Audix TR-40* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://www.audixusa.com/docs/products/TR40A.shtml>.
- [17] *Uživatelská dokumentace předzesilovače RME Micstasy* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.rme-audio.de/download/sheets/sheet\\_micstasy\\_e.pdf](http://www.rme-audio.de/download/sheets/sheet_micstasy_e.pdf).
- [18] *Uživatelská dokumentace předzesilovače Behringer ADA8000* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.behringer.com/assets/ADA8000\\_P0187\\_M\\_EN.pdf](http://www.behringer.com/assets/ADA8000_P0187_M_EN.pdf).
- [19] *Servisní dokumentace předzesilovače Behringer ADA8000* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://gyraf.dk/schematics/Behringer\\_ada8000\\_analouge.PDF](http://gyraf.dk/schematics/Behringer_ada8000_analouge.PDF).
- [20] *Aplikační listy výrobce THAT1512* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.thatcorp.com/datashts/THAT\\_1510-1512Datasheet.pdf](http://www.thatcorp.com/datashts/THAT_1510-1512Datasheet.pdf).

- [21] *Aplikační listy výrobce Analog Devices SSM2017* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.analog.com/static/importedfiles/data\\_sheets\\_obsolete/-139484016SSM2017.pdf](http://www.analog.com/static/importedfiles/data_sheets_obsolete/-139484016SSM2017.pdf).
- [22] Self, Douglas *Small Signal Audio Design* Focal Press, 2010. ISBN 978-0-240-53177-0.
- [23] *Servisní schéma mixážního pultu SSL 82E149* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.ka-electronics.com/images/SSL/ssl\\_82E149.pdf](http://www.ka-electronics.com/images/SSL/ssl_82E149.pdf).
- [24] *Aplikační listy výrobce Wavefront AL1401AG* [3.5.2012].  
Dostupné z [http://www.wavefrontsemi.com/UserFiles/File/AL\\_Info/AL14/Wavefront%20AL1401AG%20OptoGen%20Data%20Sheet.pdf](http://www.wavefrontsemi.com/UserFiles/File/AL_Info/AL14/Wavefront%20AL1401AG%20OptoGen%20Data%20Sheet.pdf).
- [25] *Dokumentace analyzátoru Audio Precision SYS-2722* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://ap.com/download/file/143>.
- [26] *Dokumentace výrobce Alesis LX20* [3.5.2012].  
Dostupné z <http://pdf.textfiles.com/manuals/STARINMANUALS/Alesis-/Manuals/ADAT%20LX20.pdf>.