



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra radioelektroniky

## Bakalářská práce

### **Měření parametrů analogového záznamu** **Measurement of analog recording parameters**

**Studijní program:** Komunikace, multimédia a elektronika

**Studijní obor:** Multimediální technika

**Vedoucí práce:** Ing. František Rund, Ph.D.

**Kritskii Vladislav**

---

Praha 2017

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra radioelektroniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Vladislav Kritskii**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Multimediální technika

Název tématu: **Měření parametrů analogového záznamu**

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se se základními vlastnostmi analogového záznamu a definicemi sledovaných parametrů (kmitočtová charakteristika, THD, SNR, ...). Připravte metodiku pro získání parametrů analogového záznamu z digitální kopie měřicího média. Výstupem práce bude program implementovaný v prostředí MATLAB, který umožní měřit parametry analogového záznamu z digitalizovaného měřicího média (např. digitalizované měřicí pásky). Výsledky porovnejte s výsledky získanými jinou metodou.

Seznam odborné literatury:

- [1] Bašta, I.: Zpracování a záznam signálu. Praha: ČVUT. 1999.
- [2] Bohn, D.: Audio Specifications [online]. Last revision January 2003 [cit. 2014-10-23]. <http://www.rane.com/note145.html>.

Vedoucí: Ing. František Rund, Ph.D.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

doc. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 10. 2. 2015

## Poděkování

Děkuji panu Ing. F. Rundovi, Ph.D za odborné vedení, vstřícnost a rady při vypracování této bakalářské práce.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 10.01.2017

.....

# Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou základních parametrů analogových záznamů a jejich implementací pro analyzování. V teoretické části jsou představeny definice parametrů, uvedena klasifikace předložených typů záznamů a jejich vlastnosti, popsány vztahy, které byly následně použity pro výpočet. V rámci této práce je aplikován algoritmus pro implementaci popsaných vztahů v programovém prostředí Matlab. Provádí se analýza představených záznamů a porovnání výsledků pomocí jiného softwaru.

## Klíčová slova

Analogový signál, Matlab, mechanický záznam, optický záznam, magnetický záznam, šum, parametry

# Abstract

The bachelor's thesis presents a definition of basic parameters of analog signals and its implementation for analyzing. Theoretical part is consist of classification of analog signals, introduction to parameters, description of parameters' calculation. The practical part of this work is devoted to design of a proper algorithm in Matlab environment. From suggested tracks was made a database for analysis. Obtained results are compared with results from a third-party software.

## Key words

Analog signal, Matlab, mechanical record, optical record, magnetic record, noise, parameters

# Obsah

<b>I</b>	<b>Úvod</b>	<b>3</b>
<b>II</b>	<b>Teoretická část</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Klasifikace analogových záznamů</b>	<b>6</b>
1.1	Mechanický záznam zvuku . . . . .	6
1.2	Optický záznam zvuku . . . . .	8
1.3	Magnetický záznam zvuku . . . . .	9
<b>2</b>	<b>Parametry analogových záznamů</b>	<b>12</b>
2.1	Zkreslení . . . . .	12
2.1.1	Frekvenční charakteristiky . . . . .	12
2.1.2	THD . . . . .	13
2.1.3	Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N) . . . . .	14
2.1.4	Intermodulační zkreslení (IMD) . . . . .	15
2.2	Šumové vlastnosti záznamu . . . . .	16
2.2.1	Zdroje šumu . . . . .	16
2.2.2	SNR . . . . .	17
2.2.3	Váhové filtry . . . . .	17
2.3	SINAD . . . . .	18
2.4	Útlum přeslechu . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Shrnutí</b>	<b>20</b>
<b>III</b>	<b>Praktická část</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Příprava měřené databázi</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Navrh postupu a jeho implementace</b>	<b>25</b>
5.1	Frekvenční spektrum . . . . .	25
5.2	THD . . . . .	25
5.3	THD+N . . . . .	27
5.4	SNR . . . . .	29

5.5 Jiné parametry . . . . .	30
<b>6 Interpretace získaných výsledků a porovnání s výsledky získané v jiném programu</b>	<b>32</b>
<b>IV Závěr</b>	<b>34</b>
<b>Literatura</b>	<b>36</b>
<b>A Seznam použitých zkratk</b>	<b>38</b>
<b>B Manual</b>	<b>39</b>
<b>C Obsah přiloženého CD</b>	<b>41</b>
<b>D Testované vzorky</b>	<b>42</b>

# Seznam obrázků

1.1	Princip gramofonového záznamu. Převzato a upraveno z [6] . . . . .	7
1.2	Druhy optického záznamu. Převzato a upraveno z [6] . . . . .	9
1.3	Princip magnetického záznamu. Převzato a upraveno z [15] . . . . .	10
1.4	Hysterezní smyčka . . . . .	10
2.1	Příklad logaritmických kmitočtových charakteristik. Převzato a upraveno z [18] . . . . .	13
2.2	Princip THD. Převzato a upraveno z [2]. . . . .	14
2.3	Schematické představení pojmu SNR. Převzato a upraveno z [9]. . . . .	17
2.4	Psofometrické filtry. Převzato a upraveno z [12] . . . . .	18
2.5	Schematické představení pojmu SINAD. Převzato a upraveno z [2] . . . . .	19
5.1	Blokové schéma měření THD . . . . .	26
5.2	Blokové schéma měření THD+N. Adaptace z [13] . . . . .	27
5.3	Notch filtr pro eliminaci základní harmonické . . . . .	28
5.4	Omezení kmitočtového pásma filtrem s pásmovou propustí . . . . .	28
5.5	Frekvenční charakteristika A - filtru . . . . .	30
5.6	Příklad výsledků měření parametru SINAD . . . . .	31
5.7	Příklad výsledků měření intermodulačního zkreslení . . . . .	31
B.1	Uživatelské rozhraní programu <i>SpectralAudio</i> . . . . .	39
D.1	RES_DEFA1PF35_U_a . . . . .	42
D.2	analog_TEST_KMIT_DKG_1_1940 . . . . .	43
D.3	Profi_tape . . . . .	44
D.4	RES_kmitoctovy_50-10000_test_E-UV . . . . .	44



# Seznam tabulek

3.1	Tabulka doporučených testovacích impulsů. . . . .	21
4.1	Seznam testovaných záznamů . . . . .	24
6.1	Výsledky vzorků z analog_TEST KMIT DKG 1 1940 . . . . .	32
6.2	Výsledky vzorků z Track 02 . . . . .	32
6.3	Výsledky vzorků z Profi tape . . . . .	33
6.4	Výsledky vzorků z RES DEFA1PF35 . . . . .	33
6.5	Výsledky vzorků z RES_kmitoctovy_50-10000_test_E-UV . . . . .	33
6.6	Rozdíly výsledků měření jednotlivých parametru . . . . .	33

# Část I

## Úvod

Počátkem historie záznamu zvuku je vynález fonografu Thomasem Edisonem, který patentoval v roce 1878 a tento okamžik se považuje za zahájení epochy analogového záznamu akustického signálu. Díky technickému pokroku se objevili nové nástroje a techniky, ale všechny mají společný princip. Základní myšlenkou analogového záznamu je uložení signálů jako spojitého signálu v neboli na médiu (na rozdíl od modernějšího digitálního záznamu, kde se používá převod do číslcového kódu) [19].

V dnešní době porovnání kvality výsledků získaných pomocí těchto dvou metod je předmětem horkých debat mezi milovníky špičkového zvuku. Zatímco někteří audiofilové platí obrovské sumy peněz za vzácné gramodesky a pásky, jiní věří, že je to již zcela zastaralé a budoucnost patří digitálním systémům. Kvalita zvuku je v podstatě subjektivním pojmem a hodně záleží na zvycích, osobních preferencích a psychoakustickém vnímání posluchače.

### **Motivace**

Pro objektivní hodnocení musíme uvést charakterizující parametry a pomocí vhodných nástrojů jich změřit. Pro měření kvality analogových záznamů můžeme použít jak analogové přístroje (ku příkladu zkresloměr) tak i speciální software. Existují na to různé programy, ale většinou nejsou volně dostupné nebo vyžadují připojení k Internetu. Takže v průběhu praktické části práce bude vytvořen vlastní program pro měření na kopii analogového záznamu.

### **Struktura práce**

Tato bakalářská práce je věnovaná problematice analogového záznamu zvuku a jejím primárním cílem je prostudovat aspekty měření parametrů analogového záznamu a realizovat měření základních parametrů. Text práce je rozdělen následovně: úvod, 2 hlavních částí - teoretická a praktická, závěr.

Teoretická část se sklada ze 2 kapitol. První kapitola uvádí klasifikace druhů analogových záznamů. Druhá kapitola popisuje nejdůležitější parametry záznamů, jejichž implementaci je věnovana praktická část. Závěrečná část dokumentu je shrnutí celé práce a návrhy pro možné budoucí vylepšování.

## Část II

# Teoretická část

# Kapitola 1

## Klasifikace analogových záznamů

Obecně analogovým záznamem rozumíme uchování signálu ve spojitě formě, který má v daném časovém intervalu nekonečně mnoho hodnot. V rozsahu této práce za analogový záznam bude se považovat výsledek tohoto procesu, tedy samotná zvuková nahrávka uložená na analogovém médiu (gramofonová deska s hudbou, zvukový záznam na filmovém pásu, magnetofonová nahrávka apod.).

Během 20 století se objevili 3 hlavní typy natáčení analogového zvuku [3]:

- mechanický,
- optický,
- magnetický.

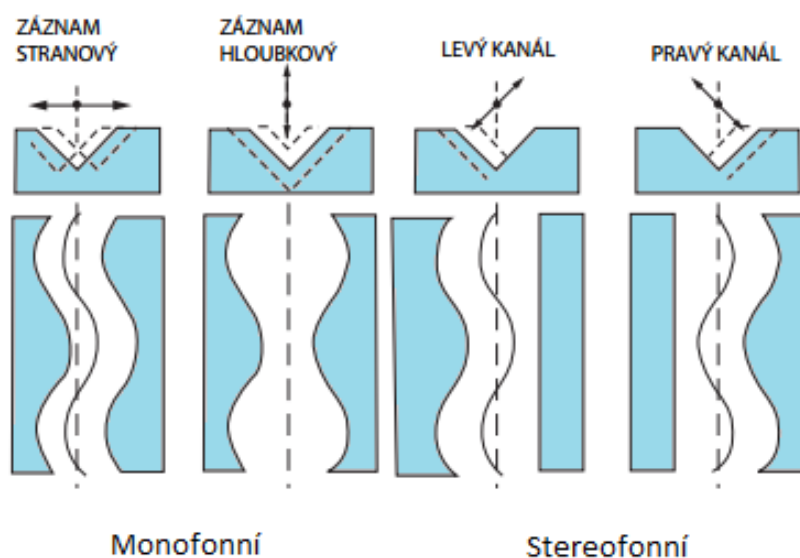
Záznam zvuku byl zpočátku pouze analogový mechanický a optický . Následujícím krokem rozvoje stalo využití magnetických vlastností a zavedení páskových nosičů signálu.

### 1.1 Mechanický záznam zvuku

Mechanický záznam zvuku je obecně znám jako gramofonový záznam. Jako paměťové médium zde se používá gramofonová deska neboli gramodeska, což je dvousměrný nebo jednostranný disk vyrobený z syntetického materiálu (původně z šelaku), na povrch nebo povrchy kterého jsou lisované nepřetržité meandrující drážky nebo stopy, což je zobrazení zvukových vln. Záznam se reprodukuje pomocí jehly speciálně určeného pro tento účel zařízení – gramofonu. Při pohybu po drážkách jehla začne vibrovat. Tato vibrace vede ke vzniku elektrického signálu [22].

Podle druhu záznamu rozdělujeme tento typ na monofonní a stereofonní. Monofonní gramofonové desky používají jen horizontální kmity jehly a stereo – jak horizontální , tak i

vertikální. Horizontálně se kóduje součet obou audio kanálů, vodorovně - rozdíl mezi nimi, což zajišťuje plnou kompatibilitu (monofonní přehrávače reprodukují stereo gramodesky jako součet kanálů, stereofonní přehrávací zařízení reprodukují monofonní záznamy jako dva identické kanály).



Obrázek 1.1: Princip gramofonového záznamu. Převzato a upraveno z [6]

### Dělení gramodesek [20]

- **standardní desky.** Tento historický a překonaný typ desek byl vyráběn z šelaku. Měly širší drážku než dnešní desky, pro přehrávání se používal hrot s větším poloměrem zaoblení. Tyto desky měly průměr nejčastěji 25 cm a rychlost otáčení 78 otáček za minutu.
- **desky s úzkou drážkou.** Lisují se z plastické hmoty PVC (vinyl), ale výjimečně též z jiných umělých hmot v podobě pohlednic, vzorkovaných, či průhledných desek.
- **SP (single play)** - obvykle mají průměr 17cm a přehrávají se rychlostí 45 otáček za minutu;
- **EP (extended play)**- v podstatě jsou totožné s SP, ale na každé straně jsou dvě (někdy i tři) písničky;
- **LP (long play)** dlouhohrající deska obvykle na rychlost 33,1/3 otáček za minutu, průměr 30 cm, na jedné straně libovolný počet skladeb či záznamů mluveného slova, u hudebních záznamů z oblasti populární hudby většinou 4 až 14 písniček;
- **GL-** zvláštní typ gramofonové desky. Průměr 25 cm, 33+1/3 otáček za minutu nebo 16+2/3 otáček za minutu.

### Specifické příčiny zkreslení a šumu mechanického záznamu

Při nahrávání gramofonové desky zvuk vzniká v mechanické části gramofonu, kde se zvuk snímá pomocí jehly. Mechanická konstrukce pro snímání zvuku z desky se skládá zejména ze třech hlavní částí - jehla, držák jehly a jehlový přívěsek. Tyto 3 části mechanické soustavy mají vlastní inercie a rezonanční kmitočty. Proto v této konstrukce vzniká největší zkreslení.

Hlavní součástí mechanické konstrukce je jehla neboli její výrobní materiál a forma broušení. Pro dokonalé přehrávání jehla má mít takové rozměry, aby se dotýkala stěny štěrbin jen ve dvou bodech. Body mají mít dostatečnou vzdálenost od povrchu desky tak, aby jehla „neškrabala“ v místech velké hlasitosti. Kromě toho, tato vzdálenost poměrně sníží vliv defektů povrchu desky [5].

Při použití gramofonu konec jehly se pomalu škodí pod vlivem tlaku. Během tohoto procesu ne desce zůstávají třísky – produkt reakce jehly a gramofonové desky. Třísky pokrývají stěny a štěrbin desky, čím zrychlují proces škození jehly a samotných štěrbin.

U mechanického záznamu je málo potlačený přeslech, což taky značně ovlivňuje jeho charakteristiky.

## 1.2 Optický záznam zvuku

Optický záznam se objevil v kinematografii v souvislosti se zaváděním zvukového filmu. Podstatou optického záznamu je zápis zvuku fotograficky světlem přímo do citlivé emulze filmu. Záznam se exponuje na okraj filmového pásu. Velikost exponované plochy nebo intenzita expozice je modulována zvukovým signálem.

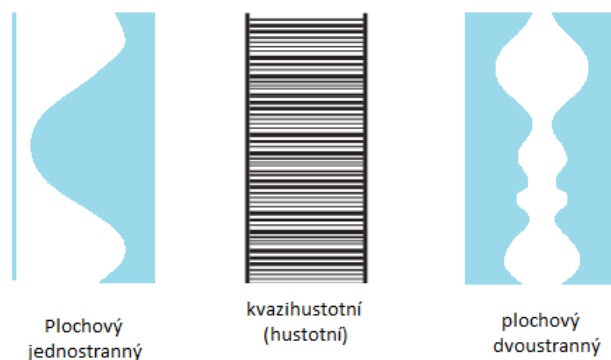
Existují 2 druhy optického záznamu, a to [10], [16]:

- *plošný*. Plošný optický záznam vzniká exponováním zvukové stopy konstantní intenzitou světla přes štěrbinu, která je v rytmu zvukového signálu zčásti zakrývána stínem masky vhodného tvaru. Štěrbina se pohyblivou clonou překrývá takovým způsobem, aby velikost osvětlené části štěrbin odpovídala okamžité hodnotě amplitudy zvukového signálu (shoda s amplitudovou modulací vedla k vzniku druhé názvy metody- amplitudový záznam). Amplitudový záznam má výhodu ve své nenáročnosti na fotochemické zpracování, ale při nerovnoměrném prosvětlení štěrbin vzniká při záznamu i při snímání (reprodukcii) značné nelineární zkreslení;
- *hustotní*. Hustotní optický záznam připomíná frekvenční modulaci a používá konstantní šířku zvukové stopy. Stopa se exponuje světlem, jehož intenzita (a tím i intenzita zčernání stopy) je úměrná okamžité hodnotě amplitudy zvukového signálu.

Mezi nevýhody analogového optického záznamu jsou:

- malý dynamický rozsah,

- úzké pásmo přenášených kmitočtů (frekvenční rozsah je omezen rozlišovací schopností použitého fotografického materiálu),
- silná závislost úrovně zkruslení na fotografických vlastnostech filmu.



Obrázek 1.2: Druhy optického záznamu. Převzato a upraveno z [6]

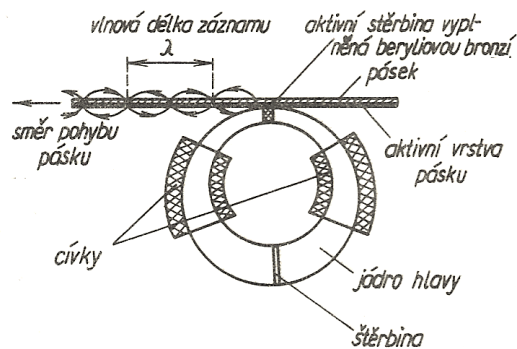
### 1.3 Magnetický záznam zvuku

Základní myšlenka tohoto typu záznamu spočívá v zmagnetování magneticky tvrdého materiálu s velkou remanentní indukcí  $B_r$ . Nezmagnetovaný materiál vložen do budícího magnetického pole s intenzitou magnetického pole  $H$ . V záznamovém materiálu se vytvoří magnetické pole s magnetickou indukcí  $B$ . Jakmile zmizí budící pole, materiál zůstává zmagnetován a informace je uložena ve formě zbytkové magnetické indukce  $B_r$  [15]. Záznamovým materiálem je nejčastěji magnetofonový pásek, povrch kterého je pokrytý aktivní vrstvou. Ve většině případů je to vrstva oxidu železitého s různými dodatky pro zlepšení kvality záznamu. Tyto vylepšení přispívají ke snížení šumu, zmenšení počtu hluchých míst a ke snížení opotřebení magnetických hlav. Schematický je to ilustrováno na obrázku 1.3.

Metody pro magnetický záznam se dělí [1]:

- **Podle orientace stopy**
  - **Podelný záznam** – nejjednodušší, stopy jsou rovnoběžné s okrajem pásku
  - **Šikmý záznam** (stopy svírají nenulový úhel s okrajem pásku) a jeho zvláštní případ
  - **Příčný záznam** – svíraný úhel je  $90^\circ$ .
- **podle způsobu předmagnetizace**



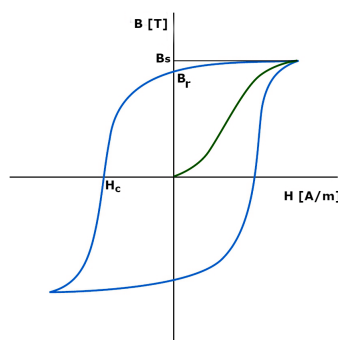


Obrázek 1.3: Princip magnetického záznamu. Převzato a upraveno z [15]

- **bez předmagnetizace** - poskytuje zvukový záznam nepřijatelně nízké kvality
- **s předmagnetizací**
  - předmagnetizace stejnosměrným magnetickým polem - zvyšuje citlivost záznamu a rozšiřuje dynamický rozsah nahrávky,
  - předmagnetizace střídavým (vysokofrekvenčním) magnetickým polem - výrazně snižuje harmonické zkreslení, rozšiřuje dynamický rozsah a zvyšuje citlivost záznamu.

Zastavím se podrobněji u druhé metody v této klasifikaci a vysvětlím, proč je předmagnetizace tak důležitá při magnetickém záznamu signálu.

Pro zajištění nezkresleného záznamu je nezbytné posunout pracovní bod na magnetizační křivce záznamového materiálu do středu lineární části. Toto pomocné magnetické pole, které bude při záznamu trvale ovlivňovat záznamový materiál tak, abychom při jeho magnetizaci vycházeli ze středu lineární charakteristiky magnetizační křivky se vytváří v průběhu **předmagnetizace** [1].



Obrázek 1.4: Hysterezní smyčka

Předmagnetizační proud musí mít kmitočet tak vysoký, aby vyšší harmonické kmitočty zaznamenaných signálů, vznikající především v důsledku nelinearity magnetizačních

charakteristik záznamového materiálu, neinterferovaly se signálem předmagnetizace. Tento nepříjemný jev vzniká především při záznamu řeči nebo hudby s výraznými výškami v okamžicích, kdy je záznamový materiál již přebuzen. Za optimální kmitočet předmagnetizačního signálu pro záznam zvuku se považuje libovolný kmitočet v rozmezí 60 až 120 kHz.

## Kapitola 2

# Parametry analogových záznamů

### 2.1 Zkreslení

Zkreslení jsou rozděleny do dvou velkých skupin: lineární a nelineární zkreslení. Lineární zkreslení nevytvářejí nové spektrální složky signálu, změny pouze amplitudu a fázové komponenty na rozdíl od harmonických, které spektrum mění. Harmonické zkreslení je charakterizováno pomocí parametrů THD a IMD, lineární jsou známy jako frekvenční charakteristiky.

#### 2.1.1 Frekvenční charakteristiky

Na začátku zavedeme pojem *frekvenční přenos systému*.

Přenos systému můžeme definovat jako závislost poměru amplitudy výstupního ku vstupnímu napětí a jejich fázový posun v závislosti na kmitočtu [14].

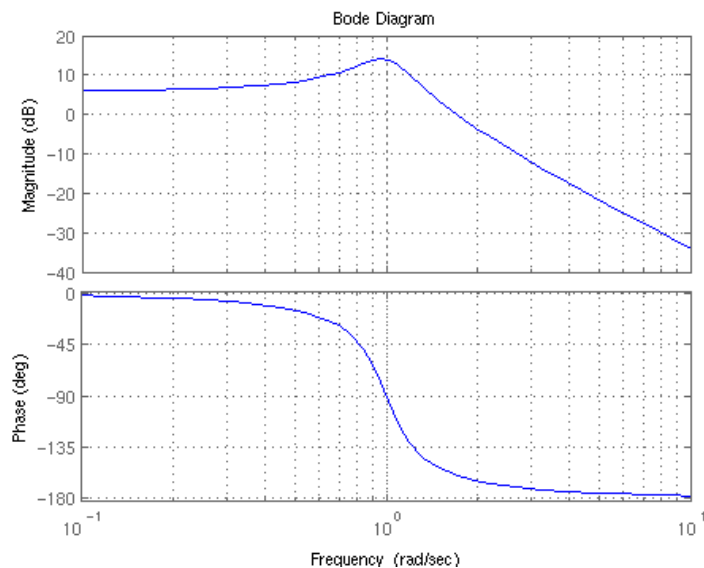
Měření přenosu se provádí, aby se zjistil kmitočtový rozsah, ve kterém se výstup systému relativně nemění.

$$P(j\omega) = \frac{\hat{U}_2(j\omega)}{\hat{U}_1(j\omega)}, \quad (2.1)$$

*Frekvenční charakteristika* je grafické zobrazení frekvenčního přenosu systému. Podle způsobu kreslení rozeznáváme tři druhy kmitočtových charakteristik:

- v lineárních souřadnicích,
- v komplexní rovině,
- v logaritmických souřadnicích.

V rozsahu této bakalářské práce má největší význam graf Bodého, což je graf frekvenčního přenosu v logaritmických souřadnicích. Ten se skládá ze dvou částí a to jsou *logaritmická amplitudová charakteristika* a *logaritmická fázová charakteristika*. Fázové charakteristiky jsou vynašeny jako  $\arg(P(j\omega))$ , modulové jako  $20 \cdot \log(|P(j\omega)|)$ .



Obrázek 2.1: Příklad logaritmických kmitočtových charakteristik. Převzato a upraveno z [18]

## 2.1.2 THD

*Celkové harmonické zkreslení (THD)* je významným parametrem, charakterizujícím zkreslení sinusového signálu. V literatuře jsou uvedeny dvě odlišné definice pojmu THD, což může způsobit nejednoznačnost a nesprávnou interpretaci naměřených hodnot [17]. Podle první THD je poměr RMS amplitud vyšších harmonických k RMS amplitudě první harmonické, nebo základní frekvence. Alternativní varianta definice využívá jako referenční mimo základní i harmonické složky, i když používání se nedoporučuje.

Pro rozlišení, první z nich je někdy označována jako  $THD_F$ , druhá jako  $THD_R$  a platí:

$$THD_F = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} * 100\%, \quad (2.2)$$

$$THD_R = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{\sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}} * 100\%, \quad (2.3)$$

kde  $V_1$  je základní harmonická,

$V_2$  až  $V_n$  jsou vyšší harmonické signálu.

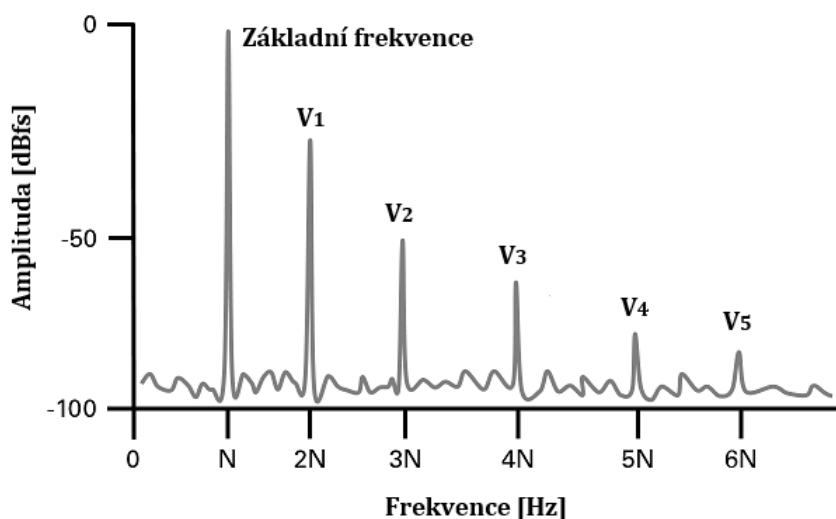
Matematický závislost mezi  $THD_F$  a  $THD_R$  lze vyjádřit následujícím vztahem:

$$THD_R = \frac{THD_F}{\sqrt{1 + THD_F^2}} \quad (2.4)$$

Na nízké úrovni zkreslení, je rozdíl mezi oběma způsoby výpočtu zanedbatelný. Například, signál s  $THD_F = 10\%$  má  $THD_R$ :

$$THD_R = \frac{0.1}{\sqrt{1 + 0.1^2}} * 100\% = 9.95\%, \quad (2.5)$$

Je také důležité poznamenat, že THD je jen kvantitativní míra zkreslení, ale v žádném případě ne kvalitativní. Například, zápis THD rovná se 3% nic neříká o povaze zkreslení, tedy jak se šíří harmonické složky spektra signálu, a jak například přispívají nízkofrekvenční či vysokofrekvenční složky.



Obrázek 2.2: Princip THD. Převzato a upraveno z [2]

### 2.1.3 Total Harmonic Distortion + Noise (THD+N)

Mnohokdy výrobce at' úmyslné či ne, zaměňují THD a jemu velmi podobný parametr THD+N. Rozdíl je v tom, že kromě výší harmonických, se bere v úvahu jakýkoliv šum. Prakticky to znamená, že za šum se bude považovat všechna energie, která nepatří do užitečného signálu.

$$THD + N = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2 + N^2}}{V_1} * 100\%, \quad (2.6)$$

kde  $V_1$  je hodnota základní harmonické měřeného signál,

$V_2$  až  $V_n$  jsou hodnoty až  $n$ -té harmonické

$N$  je hodnota šumu obsaženého ve měřeném signálu.

Výpočet THD+N je oproti «klasickému» THD značně jednodušší, protože nemusíme počítat energie pro každý kmitočet zvlášť. Vzhledem k tomu, že měření THD+N zahrnuje spíše spojité spektrum než diskretní (spektrální) body, dosažené výsledky udávají přehled nejen o nelinearitách systému, ale i úrovni šumu, přeslechu a výstupní interferenci. Tato skutečnost dává možnost považovat THD+N za parametr, který udává komplexní celkový přehled o kvalitě měřeného systému.

#### 2.1.4 Intermodulační zkreslení (IMD)

IMD je amplitudová modulace signálů, které obsahují dvě nebo více různé frekvence, způsobené nelinearity v systému a udává míru zkreslení, které nejsou harmonicky spojené s čistým signálem. To je důležité, protože kvůli tímto artefaktům hudební skladba zní drsně a nepříjemně. Intermodulační zkreslení mezi jednotlivými frekvenční složky bude produkovat další signály o kmitočtech, které tvořeny součty a rozdíly jednotlivých vstupních kmitočtů a celočíselnými násobky těchto součtů a rozdílů [21].

Lineární systém nemůže produkovat intermodulace. V případě, že vstupem lineárního časově invariantního systému je signál o jediném kmitočtu, pak výstupem je signál o stejné frekvenci; pouze amplituda a fáze se může lišit od vstupního signálu.

Nelineární systémy generují harmonické jako reakce na sinusový vstup, což znamená, že v případě, že vstup nelineárního systému je signál jediného kmitočtu, pak na výstupu je signál, který zahrnuje řadu celočíselných násobků vstupní frekvence signálu;

K intermodulaci dochází, když vstup nelineárního systému se skládá ze dvou nebo více frekvencí. Vezměme si vstupní signál, který obsahuje tři frekvenční složky, které mohou být vyjádřeny jako

$$x(t) = M_a \sin(2\pi f_a t + \phi_a) + M_b \sin(2\pi f_b t + \phi_b) + M_c \sin(2\pi f_c t + \phi_c), \quad (2.7)$$

kde  $M$  a  $\phi$  jsou amplitudy a fáze třech složek, resp.

Výstupní signál  $y(t)$  získáme přivedením na vstup nelineárního členu signálu  $x(t)$ .  $y(t)$  bude obsahovat tři základní frekvence vstupního signálu, jakož i několik jejich lineárních kombinací ve tvaru

$$k_a f_a + k_b f_b + k_c f_c \quad (2.8)$$

Obecněji řečeno, vstupní signál obsahující libovolný počet frekvenčních složek dává na výstupu nelineárního systému signál, který bude obsahovat několik kmitočtových složek, z nichž každá může být popsána jako

$$k_a f_a + k_b f_b + \dots + k_n f_n, \quad (2.9)$$

kde  $k_a$  až  $k_n$  jsou celočíselné hodnoty.

Existují 2 verze měření IMD a to metoda SMPTE používaná v Spojených Státech i ITU-R (CCIF), což je evropská norma měření [21].

## 2.2 Šumové vlastnosti záznamu

### 2.2.1 Zdroje šumu

V daném odstavci se bude mluvit o zdrojích šumu digitalizovaného analogového záznamu.

Šum se může dostat do zvukového signálu různými cestami. Většinou k tomu dochází, když je signál v analogové formě. Níže jsou uvedeny některé typické zdroje šumu.

**Šum prostředí.** Při pořízení záznamu bude šum zachycen jakýmkoli mikrofony a z kabelů a obvodů, které zpracovávají signál, pokud je v analogové formě. Jakmile je signál zachycen nebo převeden do digitální formy, bude dostatečně odolný vůči šumu, pokud jej nepřekódujeme nebo upravíme.

**Poruchy a opotřebení analogových médií.** Když uděláte digitální záznam z analogových médií, jako jsou například kazeta nebo pásky, bude šum zachycen ze strany médií v procesu přehraní i když oni jsou v dobrém stavu. Dokonce bude zachyceno více hluků, pokud je médium opotřebované, špinavé nebo poškozené. Stárnutí média vlivem času, často urychlené nevhodnými podmínkami při skladování (teplota, vlhkost, sluneční světlo), zhoršuje jeho mechanické vlastnosti, což vede k zhoršené kvalitě nahrávky.

**Analogové zařízení a kabely.** Když přehraváte analogový záznam, aby ji zachytil v digitálním formátu, bude šum zachycen i z analogových obvodů kazetového magnetofonu nebo gramofonu, z předzesilovače a případných propojovacích kabelů.

**Analogové obvody zvukové karty.** Špatně stíněná zvuková karta bude dodávat šum k signálu procházejícímu její analogovými obvody na cestě k D/A převodníku. Měníč dodává další šum chybou kvantování, kdy napětí analogového signálu se vzorkuje a zaokrouhlí na celá čísla. Tato vzniká takzvaný *kvantizační šum*, což je odlišnost kvantovaných hodnot od navzorkovaných hodnot. Šum takového typu má klasifikaci aditivního šumu a jeho vliv na užitečný signál popsán následujícím vztahem:

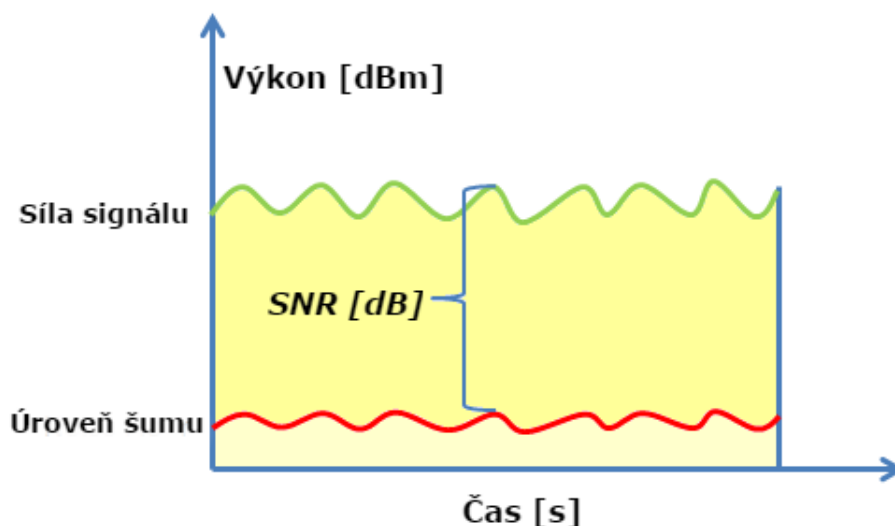
$$SNR = 6.02 \cdot N + 1.76, \quad (2.10)$$

kde  $N$  je počet bitů převodníku,

SNR je odstup signál/šum v dB.

## 2.2.2 SNR

*Odstup signál/šum* – je poměr úrovně výkonu užitečného signálu k úrovni výkonu šumu, vyjádřené většinou v decibelech. Alternativně se tento parametr dá představit jako poměr druhé mocniny dvou amplitud – užitečného signálu a šumu.



Obrázek 2.3: Schematické představení pojmu SNR. Převzato a upraveno z [9]

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \left(\frac{A_{signal}}{A_{noise}}\right)^2, \quad (2.11)$$

kde  $P$  – střední výkon,

$A$  – RMS hodnoty amplitudy.

Vyjádření v decibelech:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{A_{signal}}{A_{noise}} \right), \quad (2.12)$$

## 2.2.3 Váhové filtry

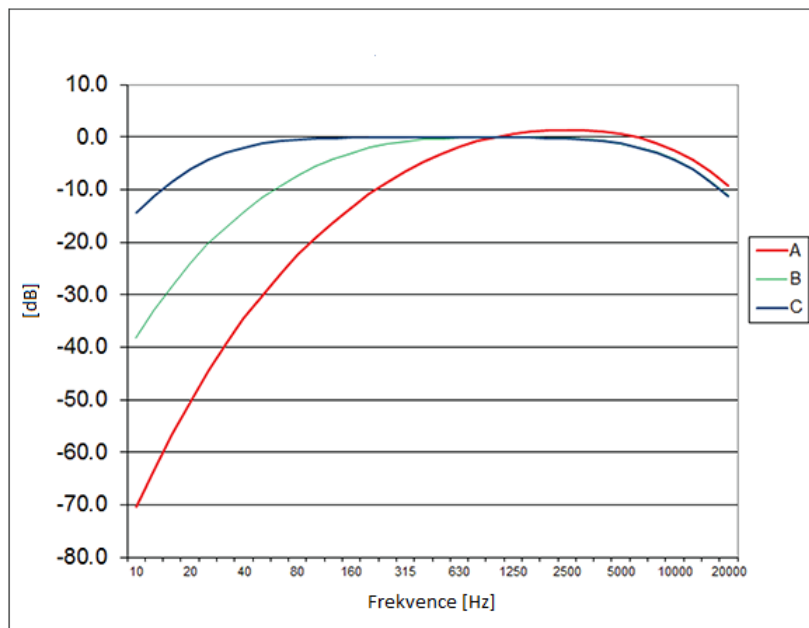
Pro měření úrovně šumu se používají takzvané psfometrické váhové filtry. Důvod zavedení těchto filtrů souvisí s tím, jak člověk vnímá zvuky. Organ lidského sluchu nevnímá stejným způsobem zvuky o stejné hlasitosti, ale různém kmitočtu. Experimentálně byly vyvinuty a standardizovány korekční koeficienty (křivky) pro přiblížení měřitelné veličiny subjektivnímu vjemu hlasitosti. Existují několik druhů korekčních křivek, nejvíc z nich používána je typu A, která je aproximací křivek stejné



hlasitosti pro oblast nízkých hladin akustického tláku. Její frekvenční charakteristika je zobrazena na obrázku a matematicky se vyjadřuje pomocí váhové funkce takto:

$$R_A(f) = \frac{12200^2 A(f) = 2.0 + 20 \log(f^2 + 20.6^2)}{10(R_A(f))f^4} \sqrt{(f^2 + 107.7^2)(f^2 + 737.9^2)(f^2 + 12200^2)} \quad (2.13)$$

$$A(f) = 2.0 + 20 \cdot \log_{10}(R_A(f)) \quad (2.14)$$

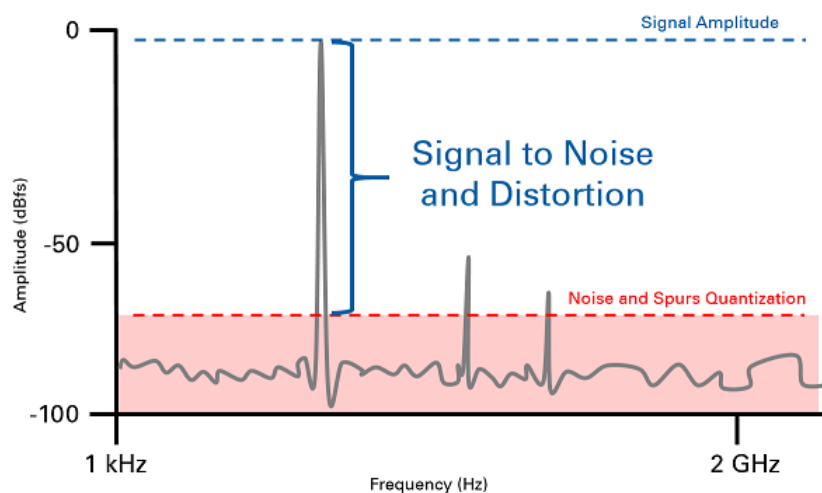


Obrázek 2.4: Psofometrické filtry. Převzato a upraveno z [12]

## 2.3 SINAD

SINAD je zkratka pro Signal-to-Noise-and-Distortion.

Odstup signál/šum + zkreslení- je poměr rms amplitudy signálu ke střední hodnotě rss všech ostatních spektrálních složek, včetně harmonických, avšak kromě DC. SINAD je dobrým indikátorem celkového dynamického výkonu systému, protože zahrnuje všechny komponenty, které tvoří šum a zkreslení. SINAD je často vyneseny pro různé vstupní amplitudy a frekvencí. Pro dané vstupní frekvence a amplitudy, SINAD se rovná THD + N.



Obrázek 2.5: Schematické představení pojmu SINAD. Převzato a upraveno z [2]

## 2.4 Útlum přeslechu

Signály z jednoho kanálu unikají do druhého kanálu. Dochází k tomu jak mezi nezávislými kanály, tak i mezi levým a pravým stereo kanály. Přeslech je měřítkem toho, jak moc konkrétní signál uniká do cesty druhého signálu.

Vybudíme-li u stereofonního zesilovače jeden kanál na jmenovitý výkon a výstup zatížíme jmenovitou impedancí, část signálu se z tohoto kanálu přenesse na kanál druhý. Poměr napětí plně vybuděného a nevybuděného kanálu nám udává míru přeslechu. Norma udává poměr těchto signálů minimálně 40 dB.

## Kapitola 3

### Shrnutí

Cílem teoretické části je úvod do problematiky analogového záznamu. Na začátku je uveden pojem *analogový záznam*, pak jsou popsány jeho druhy (mechanický, optický a magnetický) v chronologickém pořadí. Pro všechny druhy jsou popsány záznamová média, princip a rozdělení na druhy. Poté následuje seznámení s charakteristikami záznamu.

Nejdůležitější parametry charakterizující audio signál lze rozdělit do dvou hlavních skupin – zkreslení a šumové vlastnosti záznamu.

Zkreslení se rozděluje na lineární a nelineární (harmonické). Lineární zkreslení nevytvářejí nové spektrální složky signálu, změni pouze amplitudu a fázové komponenty na rozdíl od harmonických, které spektrum mění. Harmonické zkreslení je charakterizováno pomocí parametrů skupiny THD (“f”, “r”, “+N”) a IMD.

Úroveň šumu je obecně charakterizován pomocí poměru Signál/šum, ale taky mohou být do této skupiny zahrnuty i THD+N a SINAD. Tyto parametry patří do dvou hlavních skupin současně udávající přehled jak o zkreslení, tak i o úrovni šumu.

Hodnoty všech uvedených parametrů signálu jsou značně ovlivněny způsobem záznamu. Každý druh analogového záznamu zvuku (buď to mechanický, optický nebo magnetický) má své specifika ovisející se záznamovým médiem a nahrávacím zařízením, které ovlivňují kvalitu výsledného záznamu. Například u magnetického záznamu SNR zhoršuje šum pásku způsobený nehomogenitou jeho feromagnetické vrstvy. U plošného optického záznamu vzniká takzvaný *usměřňovací jev*, což je nelineární zkreslení. Jev vzniká, když dojde k zalévání důlů záznamu nedostatečným rozlišením záznamového zařízení a média. Tento jev se projevuje ve všech typech signálu, ale nejvíce škodí nahrávce obsahující řeč.

Mezi společnými příčinami znehodnocení záznamu hlavní roli hraje opotřebení záznamového média a přehrávacího zařízení. Stárnutí média vlivem času, často urychlené nevhodnými podmínkami při skladování (teplota, vlhkost, sluneční světlo), zhoršuje jeho mechanické vlastnosti, což vede ke zhoršení kvality nahrávky.

Jedním poměrně důležitým faktorem je nevyhnutelná fluktuace lineární rychlosti

záznamů v důsledku té či oné nedokonalosti přepravního mechanismu, provádějícího otáčení disku, pohyb filmu nebo pásky. Při pomalé změně v rychlosti zniká efekt tremolo. S rychlými změnami v rychlosti se získávají zkreslení spojená s frekvenční modulací.

Je nutně poznamenat, že záznam nejde měřit jako zesilovač, ale musíme nejdříve vyrobit záznamový médium (například gramofonovou desku nebo pásek) s definovaným záznamem, přehrát ho a změřit)

Na závěr praktické části uvádím tabulku hodnot testovacích impulsů doporučených pro měření charakteristik zvukového signalu dle CCITT[8] a EBU·UER[4].

<i>Parametr</i>	<i>Kmitočet testovacího impulsu</i>
SNR	1020 Hz
THD	60 Hz a 1020 Hz
IMD (SMPTE)	60Hz/7kHz
IMD (ITU-R)	19 kHz/20 kHz
Frekvenční charakteristika	1020, 40, 60, 90, 150, 250, 500, 1020, 1900, 4000, 6000, 8000, 9000, 12000, 13000 a 15000 Hz

Tabulka 3.1: Tabulka doporučených testovacích impulsů.

## Část III

# Praktická část

Tato část práce se zabývá praktickou realizací měření parametrů a je členěna podle jednotlivých kroků takto:

- Příprava měřené databázi,
- návrh postupu a jeho implementace,
- interpretace získaných výsledků a porovnání s výsledky získané v jiném programu.

Pro návrh a realizaci algoritmů a jejich následnou aplikaci na testované vzorky bylo použito programové prostředí MATLAB verze R2014b s použitím dvou Toolboxů – Signal Processing Toolbox a DSP System Toolbox a vizuální programovací prostředí GUIDE pro tvorbu aplikací s grafickým uživatelským rozhraním.

Ověření funkčnosti bude provedeno na vzorcích z připravené databázi a správnosti výsledků bude posouzena porovnáním s výsledky jiného softwaru na analýzu záznamů. Tímto softwarem je SigView verze 3.0.

Spuštění programu a všechny výpočty byly provedeny na vlastním notebooku Lenovo G510, který má následující technické specifikace :

*Processor:* Intel(R) Core(TM) i5-4200M CPU @2500GHz;

*RAM:* 8 Gb;

*Windows 7:* Max version, 64 – bit.

## Kapitola 4

# Příprava měřené databázi

Vedoucím práce byly poskytnuty digitalizované nahrávky analogových záznamů, které obsahují řečové úseky, úseky signálu o určitém kmitočtu a šum. Všechny záznamy jsou dodané ve formátu *.wav*. V následující tabulce jsou rozepsány všechny vzorky použité k vytvoření databáze testovaných dat.

<i>Název tracku</i>	<i>Typ záznamu</i>	<i>Obsah</i>	<i>Fs</i>	<i>bitrate</i>	
<i>RES_DEFA1PF35_U_a</i>	Magnetický záznam	Mluvené slovo, signál o určitém kmitočtu a šum	96 kHz	16 bit	mono
<i>RES_kmitoctovy_50-10000_test_E-UV</i>	Optický záznam	Signál o určitém kmitočtu a šum	96 kHz	16 bit	mono
<i>analog_TEST_KMIT_DKG_1_1940</i>	Optický záznam	Signál o určitém kmitočtu a šum	48 kHz	32 bitů	mono
<i>profi_tape</i>	Magnetický záznam	Mluvené slovo, signál o určitém kmitočtu a šum	44,1 kHz	16 bit	stereo
<i>Track_01-05</i>	Mechanický záznam	Signál o určitém kmitočtu a šum	44,1 kHz		stereo

Tabulka 4.1: Seznam testovaných záznamů

Z těchto záznamů byla vytvořena databáze testovaných vzorků. Za tímto účelem jsem použil program Adobe Audition CS6, ve kterém jsem od sebe oddělil jednotlivé fragmenty.

analog\_TEST\_KMIT\_DKG\_1\_1940] Track1 až Track 9,

Profi tape Track10 až Track 16,

Track 02 Track 17,

RES\_DEFA1PF35\_U\_a] Track18 až Track 23,

RES\_kmitoctovy\_50-10000\_test\_E-UV] Track24 až Track 32.

Detailnější popis vzorků není obsahem dalšího textu a je uveden v příloze.

## Kapitola 5

# Navrh postupu a jeho implementace

### 5.1 Frekvenční spektrum

Zde je potřebné nejprve představit signál ve frekvenční doméně pomocí funkce *fft*. Funkce *fft* spočítá komplexní DFT a její výsledkem je posloupnost komplexních čísel ve tvaru  $\Re\{X\} + j \cdot \Im\{X\}$ .

Amplitudové spektrum se získá takto:

$$|X[k]| = \sqrt{\Re\{X\}^2 + \Im\{X\}^2}, \quad (5.1)$$

kde  $\Re\{X\}$  je reální,

$\Im\{X\}$  imaginární část komplexního čísla.

Program Matlab obsahuje speciální funkce *abs*, kterou budeme používat i v dalších výpočtech.

Fáze spektrálních složek jsou počítány jako:

$$\angle X[k] = \tan^{-1}\left(\frac{\Re\{X\}}{\Im\{X\}}\right) \quad (5.2)$$

V programu tento výpočet byl realizován pomocí složené funkce *unwrap(angle(y))*.

### 5.2 THD

Metoda měření THD spočívá v analýze spektra signálu pomocí DFT realizované v Matlabu funkcí *fft*. Postup měření uvádí blokové schéma:

Po aplikaci *fft* na signál získáme posloupnost komplexních čísel ve tvaru  $\Re\{X\} + j \cdot \Im\{X\}$ .





Obrázek 5.1: Blokové schéma měření THD

Amplitudové spektrum se získá podle 5.2

V Matlabu realizujeme tento výpočet příkazem *abs*, poté hledáme mezi výsledky maximální hodnotu.

```
xdftmag = abs(xdft);
```

```
[c1,ind] = max(xdftmag);
```

Do proměnné *c1* se dostane amplituda základní harmonické, *ind* obsahuje její index ve frekvenčním vektoru.

Dál hledáme vyšší harmonické a provádíme kontrolu, že jsou opravdu celočíselné násobky základní frekvence.

Především musíme rozhodnout, kolik harmonických budeme brát v úvahu při výpočtu. Nastavení počtu harmonických v *SpectralAudio* se řídilo Rane Audio Specifications [7], které uvádí pro měření THD následující poznámky:

„ **CORRECT:** THD (5th-order) less than 0.01%, +4 dBu, 20-20 kHz, unity gain. **WRONG:** THD less than 0.01%“

Realizace 3. bloku schématu je představena v této části kódu:

```
harmonics_index = (1:5).*ind;
```

```
harmonics_amplitude = xdftmag(harmonics_index);
```

Indexy vyšších harmonických spočítáme jako celočíselné násobky indexu základní a uložíme do vektoru *harmonics\_index*. Pak do vektoru *harmonics\_amplitude* uložíme hodnoty amplitud odpovídajících těmto indexům.

Finálním krokem je kalkulace THD dle vztahu 2.2.

```
THDf = 100*sqrt(sum(harmonics_amplitude(2:5).^2))/harmonics_amplitude(1);
```

Výsledná hodnota je v proměnné *THDf* a zobrazuje se v programu v speciálním *edit text* okně.

```
string1 = sprintf('%.2f', THDf);
```

```
set(handles.THDr_res, 'String', string1);
```

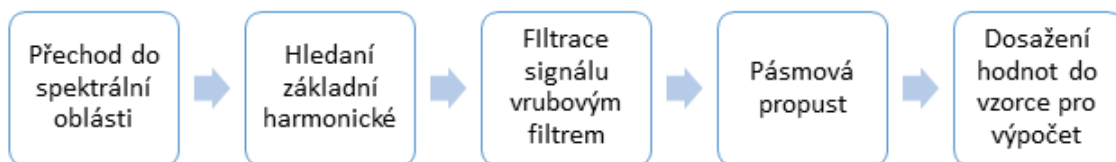
Z této hodnoty se pak počítá hodnota THDr podle vzorce 2.4, když označíme radiobutton *THDr*.

### 5.3 THD+N

Rane specifications měření THD+N uvádí následně [7]:

„THD + N je efektivní součet všech složek signálu (s výjimkou základní), přes jistou předepsanou šířku pásma. Zkresloměry provádí toto měření tak, že se odstraní základní (pomocí hlubokého a úzkého vrubového filtru) a zbytek se měří pomocí filtru s pásmovou zádrží (typicky 22 kHz, 30 kHz nebo 80 kHz). Zbytek obsahuje harmonické vyšších řádu, stejně jako náhodný šum a jiné artefakty“

Zobrazíme postup pomocí blokového schématu:



Obrázek 5.2: Blokové schéma měření THD+N. Adaptace z [13]

První etapy jsou identické popsáním v předchozím odstavci a nebudou popsané opakovaně, přejdeme hned k návrhu filtrů. Tvorba a aplikace vrubového (*anglický notch*) filtru, který odstraní tón o fundamentální frekvence  $f_0$  z signálu o vzorkovací kmitočtu  $f_s$ , je implementována v řadcích

```
wo = f0/(fs/2);
```

```
bw = wo/35;
```

```
[b,a] = iirnotch(wo,bw);
```

```
y = filter(b, a, signal);
```

Pak signál je odfiltrován filtrem s pásmovou propustí. Nižní hranice je nastavena na 20 Hz, horní - 22kHz.

```
n=20;
```

```
d = fdesign.bandpass('N,F3dB1,F3dB2', n, 20, 22e3,fs);
```

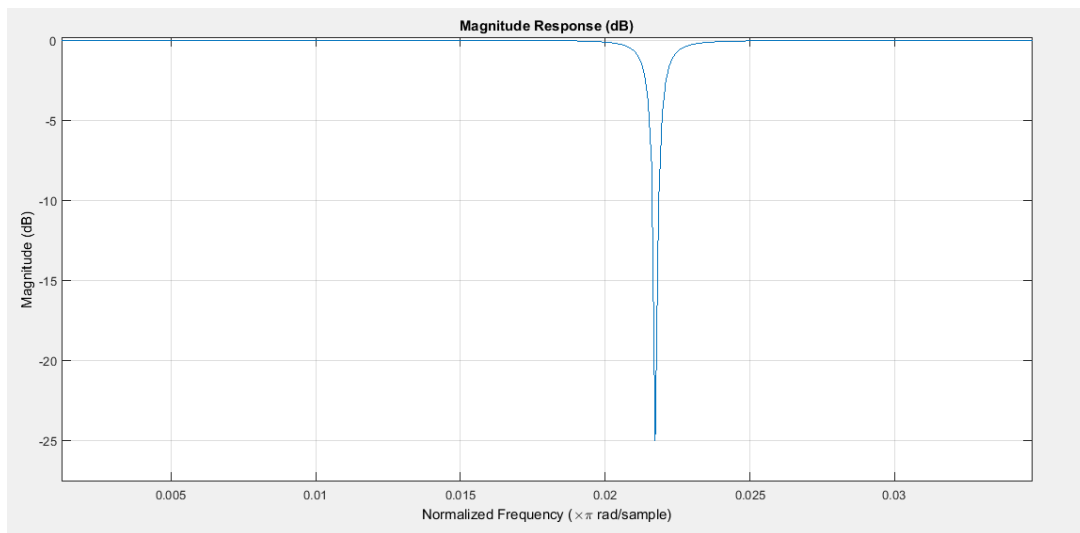
```
hD = design(d,'butter')
```

```
y1 = filter(hD,y);
```

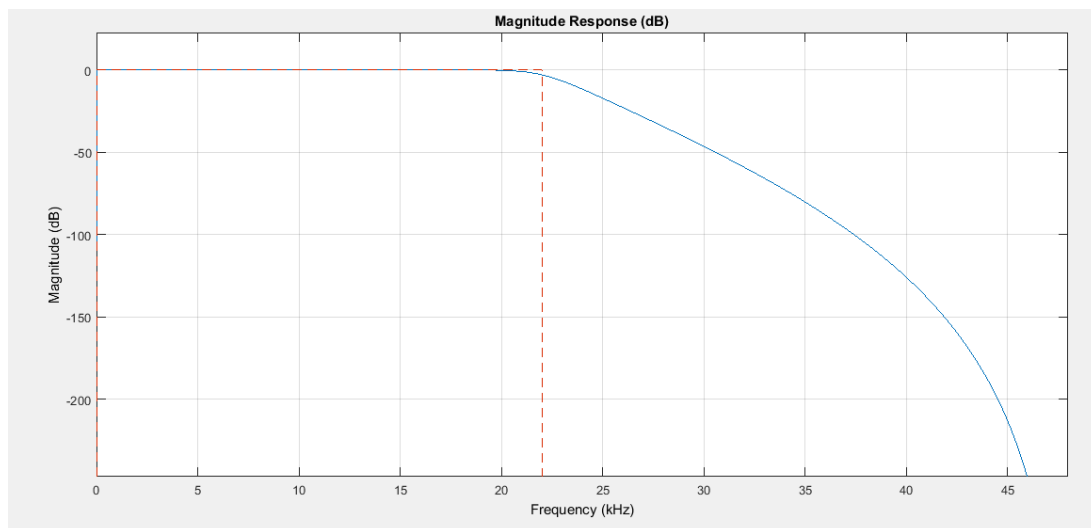
Zbylá část signálu projde FFT. Jako v předchozích měřeních získáme amplitudový spektrum (5.2) a s nalezených hodnot spočítáme THD + N.

```
THDn=rms(ydftmag)*100/rms(xdftmag);
```

Výsledná hodnota se dostane do proměnné *THDn* a se zobrazuje v programu v speciálním *edit text* okně.



Obrázek 5.3: Notch filtr pro eliminaci základní harmonické



Obrázek 5.4: Omezení kmitočtového pásma filtrem s pásmovou propustí

## 5.4 SNR

Měření SNR bylo provedeno ve spektrální oblasti s použitím metody OLA (overlap-add) – metoda sčítání přesahu. Pro daný algoritmus bylo vybráno a navrženo Hammingovo okno.

```
tlen=120;
```

```
wlen=floor(tlen*1e-3*fs);
```

```
w=hamming(wlen+1);
```

```
w=w(1:wlen);
```

```
overlap=wlen/2;
```

Pomocí overlap-adding metody se budou signál a šum mezi sebou odděleny.

```
overlap=wlen/2; frame1=x(1:wlen);
```

```
overlap=wlen/2;
```

```
Xabs=abs(fft(frame1.*w));
```

```
overlap=wlen/2;
```

```
Nabs=mean(Xabs(wlen/4:wlen/2))*ones(wlen,1);
```

Pak se provádí odečítání šumu od užitečného signálu a následný výpočet podle definičního vztahu:  $X_{abs} = X_{abs} - N_{abs}$ ;

```
SNR=20*log10(max(Xabs)/max(Nabs));
```

Daný program umožňuje vytvoření váhového A - filtru a jeho následné použití pro výpočet SNRa.

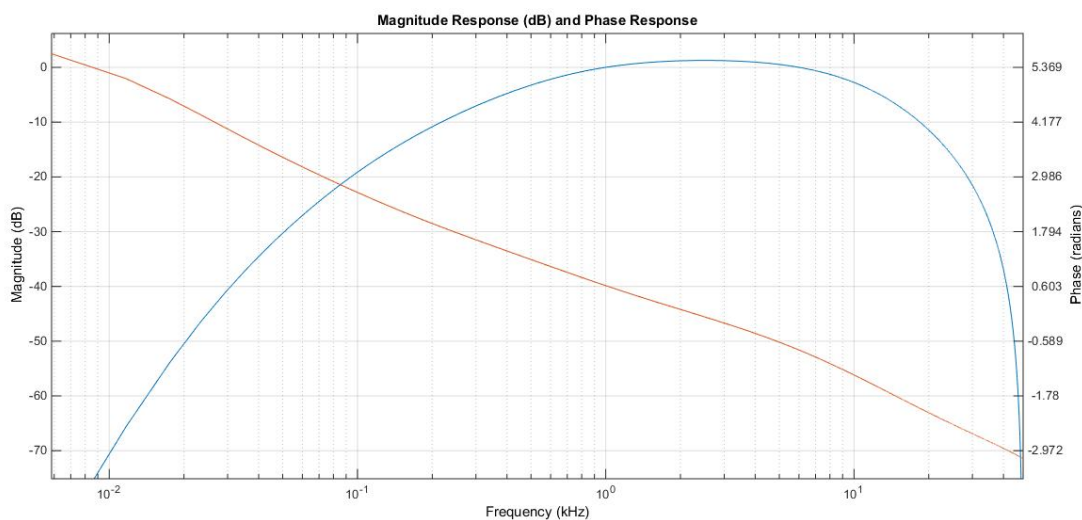
Implementace se provádí pomocí funkce design filtru v Matlab. V databázi Matlab uložené standartní typy váhových filtrů.

Následným algoritmem se bude filtr vyvolán:  $h =$   
`fdesign.audioweighting('WT,Class','A',1,fs);`

```
Ha = design(h,'ansis142','SystemObject',true); [b,a] = sos2tf(Ha.SOSMatrix);
```

```
x = filter(b,a,signal);
```

Odkazování na váhový filtr typu A se vytvoří potřebný filtr s příslušnou frekvenční charakteristikou:



Obrázek 5.5: Frekvenční charakteristika A - filtru

## 5.5 Jiné parametry

V programu SpectralAudio existuje panel Jiné parametry s možností analýzy parametrů SINAD (2.3) a intermodulačního zkreslení (2.1.4). Tyto měření jsou realizovány pomocí implementovaných do Matlabu funkcí *sinad* a *toi* (third-order intercept point) [11]. Vypočty obou parametrů se provádí v spektrální oblasti za použití *periodogramu*, což je základní neparametrickou metodou pro odhad výkonového spektra signálu.

Realizace výpočtu v programu:

```
[pxx,f] = periodogram(x,rectwin(length(x)),length(x),fs);
```

```
s=sinad(pxx,f,'psd'); aneb
```

```
[myTOI,Pfund,Ffund,Pim3,Fim3] = toi(pxx,f,'psd');
```

kde *pxx* je odhad jednostranné výkonové spektrální hustoty,

*f* je vektor cyklických frekvencí,

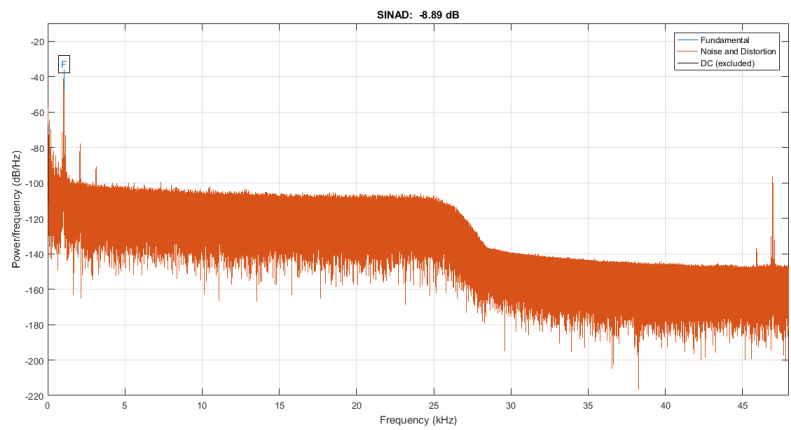
*x* je měřený signál,

*rectwin* je obdélníkové okno,

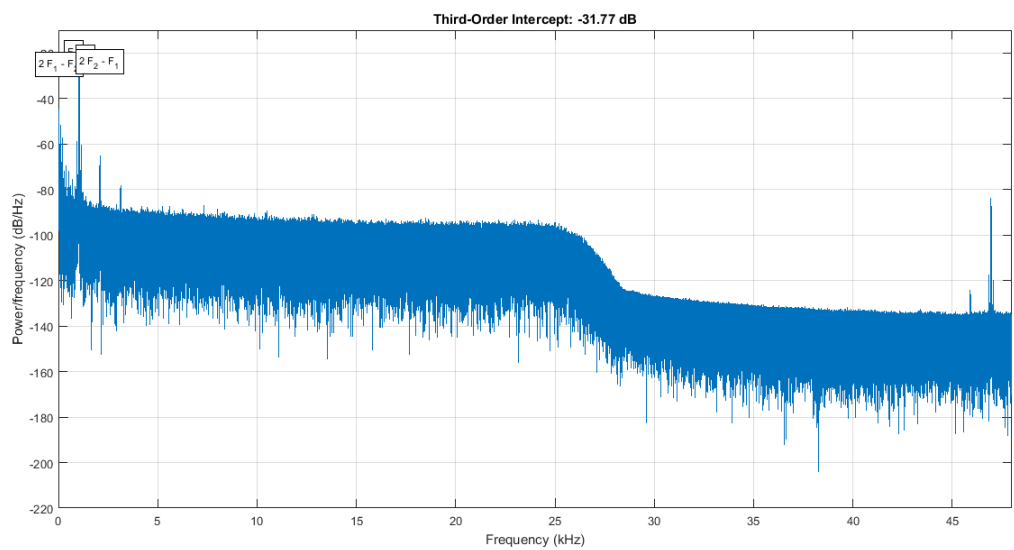
*fs* je vzorkovací kmitočet.

Výsledná hodnota dostane do příslušné proměnné, zobrazí se v programu v speciálním *edit text* okně. Taky se vykreslí spektrum s označenou základní harmonickou.

Příklad grafických výsledků:



Obrázek 5.6: Příklad výsledků měření parametru SINAD



Obrázek 5.7: Příklad výsledků měření intermodulačního zkreslení

## Kapitola 6

# Interpretace získaných výsledků a porovnání s výsledky získané v jiném programu

Pro vyhodnocení kvality výsledků získaných pomocí vlastního programu je nutné porovnat je s výsledky jiného softwaru na analýzu záznamů. Za tímto účelem jsem použil volně dostupný audioanalyzátor SigView verze 3.0, který je dostupný ke stažení na oficiálních webových stránkách programu.

Analýza byla provedena v obou programech za stejných podmínek, tj. byly použity stejné záznamové intervaly a byly měřeny stejné parametry.

Všechny získané hodnoty byly pro názornost roztříděny do příslušných tabulek.

	<i>Frekvence[Hz]</i>	<i>THD[%]</i>		<i>THD+N[%]</i>		<i>SNR[dB]</i>		<i>SNRa[dB]</i>	
		Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView
<i>Track 1</i>	1045	1,04	1,15	4,11	3,23	33,5	45,1	45,1	47,3
<i>Track 2</i>	58	1,37	1,37	8,4	2,9	30,6	46,3	46,3	34,1
<i>Track 3</i>	109	0,45	1,4	5,6	2,78	51,8	48,4	48,4	40
<i>Track 4</i>	212	1,11	1,18	6,7	2,94	36,7	44,9	44,9	42,5
<i>Track 5</i>	420	1,08	1,15	5,4	3,44	31,2	45	45	42,8
<i>Track 6</i>	1048	1,22	1,24	4,45	4,02	34,5	43,7	43,7	46,5
<i>Track 7</i>	1047	0,95	1,05	4,1	3,14	31,7	45,9	45,9	48,3
<i>Track 8</i>	3011	5,1	4,7	4,5	5,49	37,5	45,7	45,7	48
<i>Track 9</i>	6184	3,69	3,62	6,89	9,4	35,6	41	41	42,2

Tabulka 6.1: Výsledky vzorků z analog\_TEST KMIT DKG 1 1940

	<i>Frekvence[Hz]</i>	<i>THD[%]</i>		<i>THD+N[%]</i>	
		Matlab	SigView	Matlab	SigView
<i>Track 17</i>	314	0,14	0,21	3,43	0,5

Tabulka 6.2: Výsledky vzorků z Track 02

	Frekvence[Hz]	THD[%]		THD+N[%]		SNR[dB]		SNRa[dB]	
		Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView
Track 10	1kHz	0,13	0,13	1,35	0,36	47,25	51,8	63	54,1
Track 11	1kHz	0,09	0,1	2,14	0,37	41	53	36	55,3
Track 12	1kHz	0,15	0,13	2,4	1,05	34	48,4	36,55	50,6
Track 13	40	0,22	0,3	6,47	1,1	35	48,4	40	33,37
Track 14	63	0,1	0,14	5,14	1,04	39,3	48,4	25,8	37,47
Track 15	1kHz	0,07	0,14	2,37	1,03	37,7	48,5	28	50,9
Track 16	4kHz	0,08	0,07	1,76	1,2	29,75	47,8	25,4	50,7

Tabulka 6.3: Výsledky vzorků z Profi tape

	Frekvence[Hz]	THD[%]		THD+N[%]		SNR[dB]		SNRa[dB]	
		Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView
Track 18	1083	6,51	12,5	17,7	13,12	57	48	53,2	50,8
Track 19	1037	12,1	14,8	15,55	15,63	73,1	46,5	86	49,8
Track 20	6556	3,22	3,22	9,22	5,9	58	47	53,86	50,2
Track 21	6710	0,9	3,7	21,2	3,8	59	52,24	54,9	48,2
Track 22	1010	0,1	0,08	4,41	1,04	55	53,4	55,1	57
Track 23		1,29	1,45	5,29	1,6	58,2	54,7	62,9	58,7

Tabulka 6.4: Výsledky vzorků z RES DEFA1PF35

	Frekvence[Hz]	THD[%]		THD+N[%]		SNR[dB]		SNRa[dB]	
		Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView	Matlab	SigView
Track 24	1044	0,37	0,6	5,94	2,5	51,3	48,6	52,93	52,23
Track 25	58	0,43	0,43	12,2	1,9	56,8	50	54,3	39,7
Track 26	109	0,08	0,37	9,9	1,4	53,8	51,4	56,25	45,8
Track 27	213	0,2	0,6	9,8	1,77	49,8	50,36	51,6	48,63
Track 28	420	0,22	0,23	7,75	2,3	52,3	48,9	55,56	50,2
Track 29	1047	0,28	0,35	5,85	2,7	54,51	48,1	55,6	51,7
Track 30	2061	1,29	1,13	6,33	3,2	54,1	47,6	55,1	51,2
Track 31	3111	3,2	4,34	7,57	5,34	51	47,6	53,4	51,7
Track 32	5158	2,16	3,3	7,9	6,4	48,9	45	53,4	48,8

Tabulka 6.5: Výsledky vzorků z RES\_kmitoctovy\_50-10000\_test\_E-UV

	min	max	mean
THD	0	0,95	0,12
THD+N	0,08	17,4	3,64
SNR	1,6	26,6	10,48
SNRa	0,7	36,2	8,87

Tabulka 6.6: Rozdíly výsledků měření jednotlivých parametru



## **Část IV**

## **Závěr**

Cílem této práce bylo seznámení se základními parametry analogových záznamů. Pro zadané typy záznamů bylo potřeba implementovat definiční vztahy v programovém prostředí Matlab pro následnou analýzu. Výsledky z programu porovnat s výsledky z jiného softwaru.

Teoretická část definovala pojem analogového signálu a jeho třech druhů: mechanického, optického a magnetického. Byly popsány vlastnosti každého ze třech druhů, jejich chování a možné příčiny vzniku šumu. Kromě toho byly definovány parametry, které udávají základní informace o šumu a zkruslení těchto signálů a to jsou: THD, THD+N, SNR, kmitočtová charakteristika, A – váhový filtr, SINAD, IMD a útlum přeslechu.

Výstupem této práce je kód v programovém prostředí Matlab, navržený pro analyzování představené databáze nahrávek. Pomocí sestavených algoritmů byl udělán odhad definovaných šumových parametrů signálů. Program byl vyzkoušen nejprve na čistém vygenerovaném signálu, kde ukázal logické hodnoty odstupů signál-šum, což pak bylo aplikováno na záznamech.

Pro porovnání výsledných hodnot byl použit volně dostupný z internetu signálový analyzátor SigView 3.0. Během práce s tímto softwarem bylo zjištěno že se v něm občas mohou objevit nesmyslné hodnoty, což je kompenzováno volným přístupem k tomuto softwaru. Na základě výsledků se dá konstatovat, že program pracuje líp relativně předchozí verzi programu. Nepřesnosti výsledků byly způsobeny z jedné strany odlišnými charakteristikami a z druhé strany implementované metody u některých záznamů se projevují nekorektně. Například u měření THD programem SigView není známo kolik harmonických zahrnuje do výpočtu, jak definovan šum u SNR apod.

Přepracována verze programu je přesnější, má více interaktivního ovládání, má více možnosti pro grafické zpracování a výpočet.

Mezi návrhy pro budoucí práci jsou:

- automatické rozpoznávání programem obsahu měřeného záznamu (řeč, hudba, šum, ticho),
- možnost výpočtu poměru signál/šum v časové oblasti,
- možnost výpočtu THD+N v časové oblasti analogicky tomu, jak to měří analogový zkresloměr,
- doplnit měření THD kontrolou proti přesáhnutí vzorkovacího kmitočtu a označení všech harmonických na grafu.

# Literatura

- [1] Princip magnetického záznamu zvuku. Dostupné z: [http://elnika.sweb.cz/magnetofony/mag\\_zazn.html](http://elnika.sweb.cz/magnetofony/mag_zazn.html). [Online; cit. 2016-12-10].
- [2] Understanding frequency performance specifications. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3359/en/>. National Instruments Corporation. [Online; cit. 2016-12-29].
- [3] Vývoj technických prostředků pro záznam zvuku. Dostupné z: <https://umt.wikispaces.com/V%C3%BDvoj+technick%C3%BDch+prost%C5%99edk%C5%AF+pro+z%C3%A1znam+zvuku>. [Online; cit. 2016-12-10].
- [4] *Euroradio Measurements audio test material. Users' handbook for the Euroradio Measurements CD*. Geneva, October 2008.
- [5] L. Antonov. Restavraciya gramzapisej. *Zvukorezhisser*, 2004.
- [6] D. Bednařík. Historie a současnost záznamu filmového zvuku. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5093/bedna%C5%99%C3%ADk\\_2008\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5093/bedna%C5%99%C3%ADk_2008_bp.pdf?sequence=1), 2008. [Online; cit. 2016-12-15].
- [7] D. Bohn. Audio specifications. Dostupné z: <http://www.rane.com/note145.html>. [Online; cit. 2016-12-20].
- [8] CCITT. *Recommendation O.33: Automatic equipment for rapidly measuring stereophonic pairs and monophonic sound-programme circuits, links and connections*, 2010.
- [9] Cisco. Wireless fundamentals: Signal-to-noise ratio (snr) and wireless signal strength. Dostupné z: [https://documentation.meraki.com/MR/WiFi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/Wireless\\_fundamentals%3A\\_Signal-to-Noise\\_Ratio\\_\(SNR\)\\_and\\_wireless\\_signal\\_strength](https://documentation.meraki.com/MR/WiFi_Basics_and_Best_Practices/Wireless_fundamentals%3A_Signal-to-Noise_Ratio_(SNR)_and_wireless_signal_strength). [Online; cit. 2016-12-20].
- [10] K. Dušek. *Záznam a reprodukce zvuku*. ČVUT, Praha, 5. vyd. edition, 1982.
- [11] V. Dyakonov. *MATLAB i SIMULINK dlya radioinzhenerov*. DMK press, 2012.
- [12] P. Mapp. The a, b, c to z of sound level measurement. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5093/bedna%C5%99%C3%ADk\\_2008\\_bp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5093/bedna%C5%99%C3%ADk_2008_bp.pdf?sequence=1). [Online; cit. 2016-12-29].

- [13] B. Metzler. *Audio Measure Handbook*. Audio Precision, 2. vydání edition, 2005.
- [14] P. Máša. Základy elektrických obvodů. frekvenční charakteristiky. Dostupné z: <http://amber.feld.cvut.cz/vyu/eo2/files/lectures/P11.pdf>, 2011.
- [15] I. J. Sehnal. Magnetický záznam zvuku.
- [16] I. J. Sehnal. Optický záznam zvuku.
- [17] D. Shmilovitz. On the definition of total harmonic distortion and its effect on measurement interpretation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(1), 2005. ISSN: 0885-8977.
- [18] Wikibooks. Control Systems/Bode Plots. Dostupné z: [https://en.wikibooks.org/wiki/Control\\_Systems/Bode\\_Plots](https://en.wikibooks.org/wiki/Control_Systems/Bode_Plots). [Online; cit. 2016-12-29].
- [19] Wikipedia. Comparison of analog and digital recording — Wikipedia, the free encyclopedia. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Comparison%20of%20analog%20and%20digital%20recording&oldid=754574946>. [Online; cit. 2016-12-20].
- [20] Wikipedia. Gramofonová deska — Wikipedia, the free encyclopedia. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Intermodulation>. [Online; cit. 2016-12-10].
- [21] Wikipedia. Intermodulation — Wikipedia, the free encyclopedia. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Intermodulation>. [Online; cit. 2016-12-21].
- [22] Wikisound. Vinilovaya plastinka. Dostupné z: [http://wikisound.org/%D0%92%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B0](http://wikisound.org/%D0%92%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B0). [Online; cit. 2016-12-10].

## Příloha A

# Seznam použitých zkratek

**DSP** Digital Signal Processor

**CCIF** Consultative Committee on International Radio

**EP** Extended Play

**IMD** Intermodulation Distortion

**ITU-R** International Telecommunication Union, Radiocommunication Sector

**LP** Long Play

**PVC** Polyvinyl chloride

**RMS** Root Mean Square

**SINAD** Signal-to-Noise and Distortion ratio

**SNR** Signal-to-Noise Ratio

**SP** Single Play

**THD** Total Harmonic Distortion

**THD+N** Total Harmonic Distortion plus Noise

**TOI** Third-Order Intercept point

**DFT** Discrete Fourier Transform

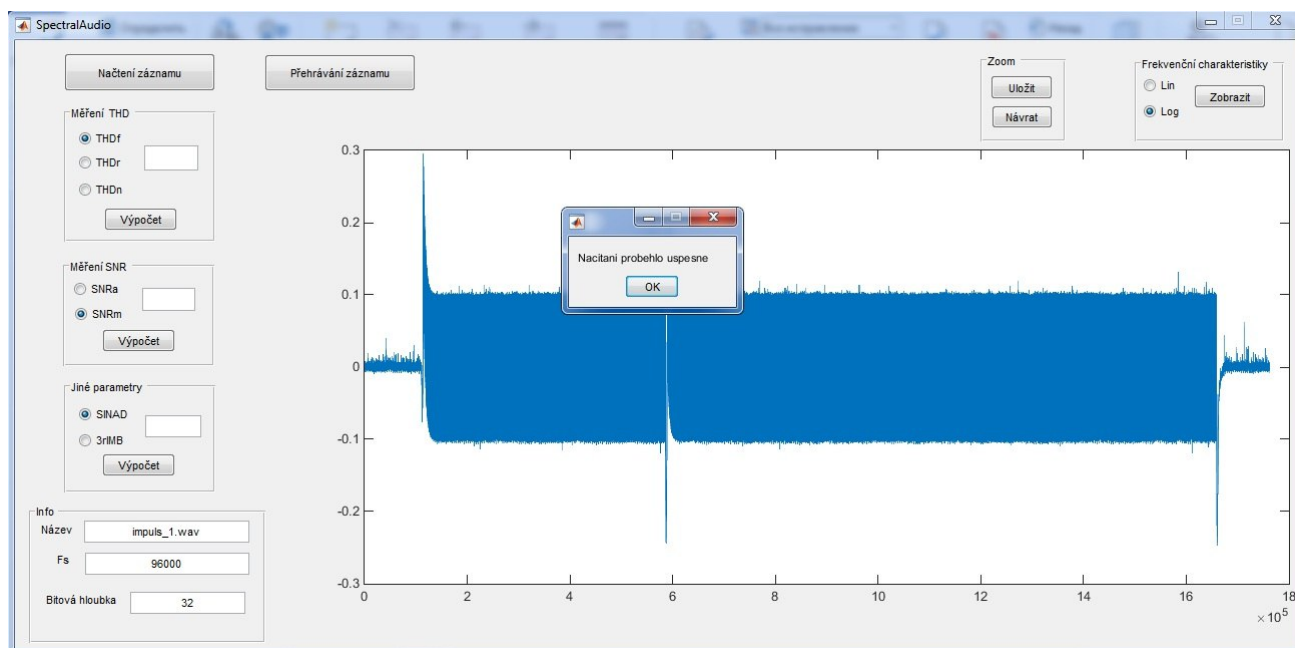
**WAV** Wave Audio File Format

## Příloha B

# Manual

### Použití programu SpectralAudio v programovém prostředí Matlab

Start programu se začíná v části SpectralAudio. Při spuštění práce programu se otevře uživatelské rozhraní, v němž se bude probíhat následující měření parametrů vybraného záznamu. Vybrat záznam pro analýzu umožňuje tlačítko „načtení záznamu“ v levém horním rohu. Zmačknutím se otevře dialogové okno. Defaultně se otevírá složka, ve které se program nachází. Je potřeba vybrat záznam formátu *.wav*. Po ukončení operace se objeví informující zpráva „načítání proběhlo úspěšně“



Obrázek B.1: Uživatelské rozhraní programu *SpectralAudio*

Uprostřed okna se zobrazí signál. Podle potřeby se dá použít funkce Zoomu. Zoom je realizován pomocí standartního nástroje Matlabu – lupou. Úsek se dá vrátit zpátky po

přiblížení do základního tvaru načteného signálu pomocí tlačítka „návrat“ v pravé horní části rozhraní. Tlačítko „uložit“ ve stejné oblasti slouží k ukládání parametrů na ose X pro výpočet přiblížené části signálu.

Vybraný signál nebo část signálu se vždy dá nahrát použitím tlačítka „přehrávání záznamu“ v horní části rozhraní.

Pro zobrazení frekvenční charakteristiky se zavádí zvláštní okno. Tého okno se vyvolává pomocí tlačítka “frekvenční charakteristiky” v pravé horní části uživatelského rozhraní. Program umožňuje vybrat v jakém měřítku provést zobrazení - lineárním nebo logaritmickém.

V levé dolní části se zobrazuje informace o nahrávce : název záznamu, vzorkovací frekvence a bitová hloubka.

Levá prostřední část umožňuje uživateli vypočet následujících parametrů:

1. THD<sub>f</sub>, THD<sub>r</sub> a THD+N (označeno jako THD<sub>n</sub>);
2. SNR (označeno jako SNR<sub>m</sub>) a SNR s použitím A – filtru (SNR<sub>a</sub>);
3. SINAD;
4. 3rd order IMB

## Příloha C

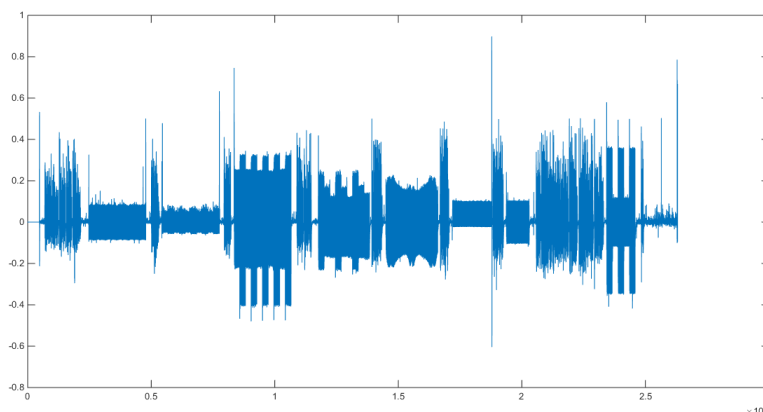
# Obsah příloženého CD

- program SpectralAudio,
- databáze testovaných vzorků;
- text bakalářské práce v elektronické podobě



## Příloha D

# Testované vzorky



Obrázek D.1: RES DEFA1PF35\_U\_a

Řečový úsek. 00:00- 00:25

Kontrola seřízení rovnoměrnosti prosvětlení snímací štěrbin. 00:26-00:49

Řečový úsek. 00:50-00:55

Kontrola seřízení správné stranové polohy snímací štěrbin. 00:56-01:20

Řečový úsek. 01:21-01:26

Kontrola seřízení kolmosti snímací štěrbin budiče zvuku 01:27-01:50

Řečový úsek. 01:51-02:04

Poslechová zkouška seřízení kmitočtové charakteristiky. 02:05-02:24

Řečový úsek. 02:25-02:29

Tón s plynulě proměnnou výškou. 02:30-02:51

Řečový úsek. 02:52-02:58

Rušivý zvuk, ne má význam pro kontrolu reprodukce zvuku. 02:59-03:14

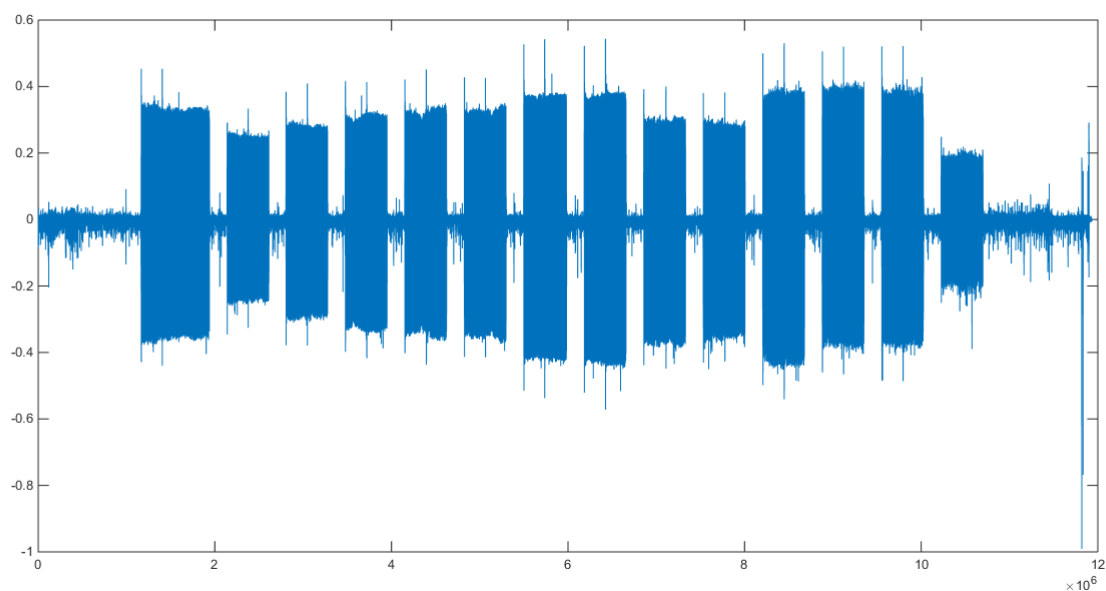
Řečový úsek. 03:15-03:20

Zkouška poznatelnosti kolísání rovnoměrnosti posuvné ryhlosti tonem se stálou výškou.  
03:21-03:33

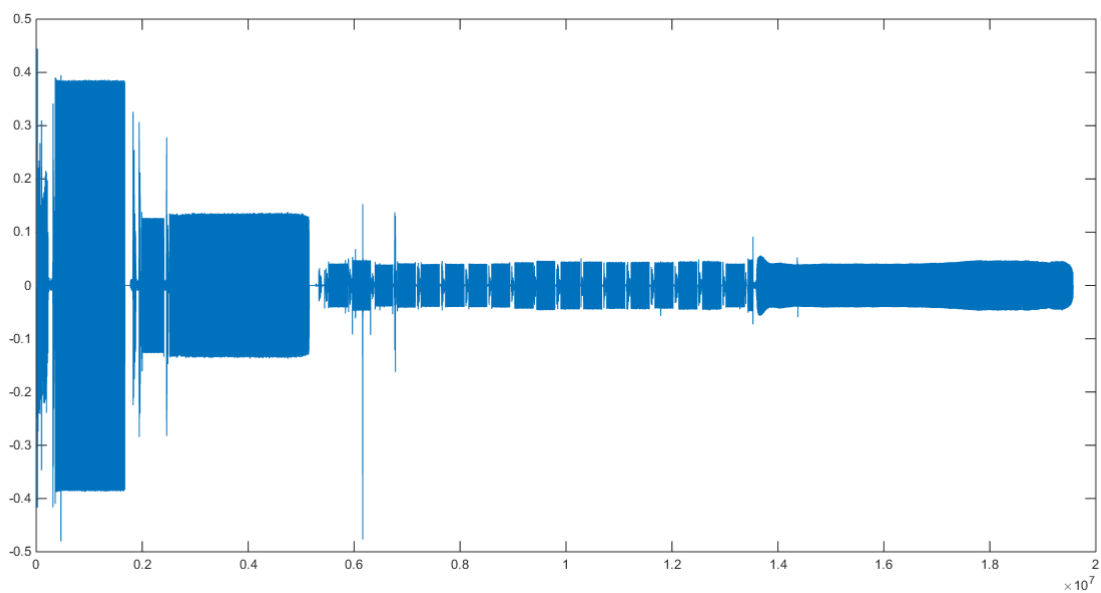
Řečový úsek. 03:34-04:03

Tón záznamenaný s plnou úrovní záznamu a odpovídající vysoké úrovni hlasitosti.  
04:04-04:16

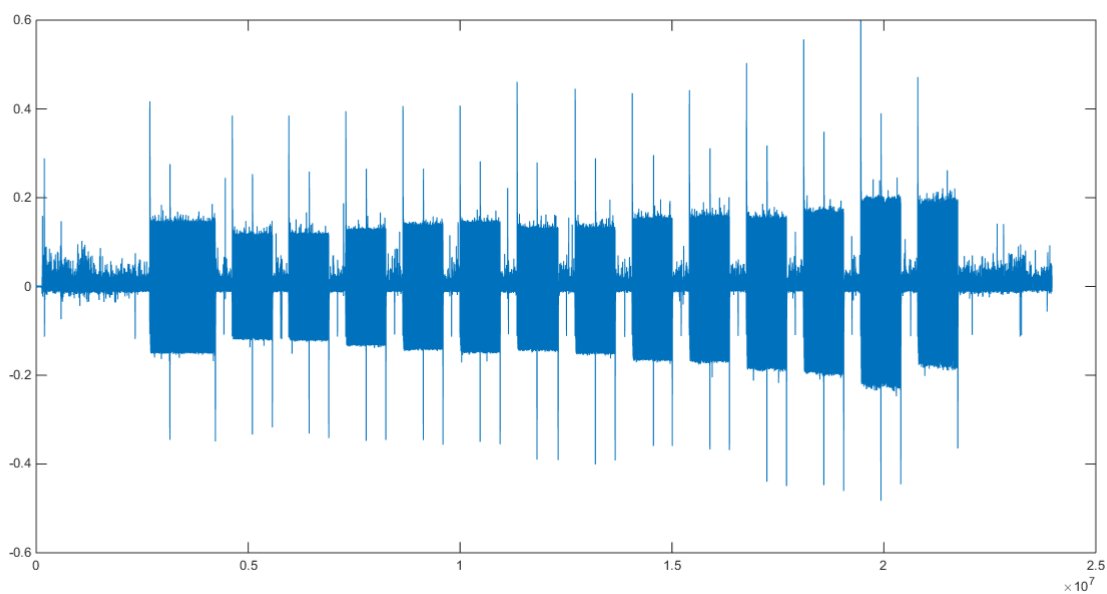
Řečový úsek. 04.17-04:33



Obrázek D.2: analog\_TEST KMIT DKG 1 1940



Obrázek D.3: Profi tape



Obrázek D.4: RES\_kmitoctovy\_50-10000\_test\_E-UV