

VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA A MODELOVANÍ ZÁKLADNÍCH TYPU ŠUMU A ZKRESLENÍ
PRI RESTAUROVÁNÍ HUDEBNÍCH ZÁZNAMU

BAKALÁRSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

FILIP LEFLER

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGÍ**
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

ANALÝZA A MODELOVANÍ ZÁKLADNÍCH TYPŮ ŠUMU A ZKRESLENÍ PŘI RESTAUROVÁNÍ HUDEBNÍCH ZÁZNAMU

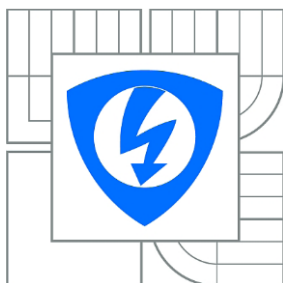
**ANALYSIS AND MODELING OF FUNDAMENTAL TYPES OF NOISE AND DISTORTION UPON
MUSICAL SIGNAL RESTORATION**

BAKALÁRSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

FILIP LEFLER
Ing. ONDREJ RÁŠO, Ph.D.

BRNO 2014



**VYSOKÉ UCENÍ
TECHNICKÉ V BRNE**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Filip Lefler
Rocník: 3

ID: 146889
Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

**Analýza a modelování základních typu šumu a zkreslení při restaurování
hudebních záznamu**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Popište základní typy šumu a zkreslení, které se často vyskytují při restaurování zvukových záznamu. Zaměřte se na signály hudební.
- 2) Z veřejně přístupných databází (nebo podobných zdrojů) získáte reálné zvukové ukázky těchto základních typů šumu a zkreslení.
- 3) Vytvořte jejich jednoduché matematické modely a tyto modely parametrizujte.
- 4) Proveďte srovnání reálných a simulovaných zvukových ukázek.
- 5) Vytvořte program s grafickým rozhraním, který bude generovat simulované zvukové ukázky zkreslených hudebních signálů.

DOPORUCENÁ LITERATURA:

- [1] iZotope RX 2 advanced, Audio software na opravu a restaurování poškozených či nekvalitně porízených audio záznamů, dostupné z [www: http://www.izotope.com/products/audio/rx/](http://www.izotope.com/products/audio/rx/)
- [2] RÁŠO, O. Objektivní měření a potlačování šumu v hudebním signálu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 148 s. Vedoucí disertační práce Ing. Miroslav Balík, Ph.D.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Rášo, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jirí Mišurec, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNENÍ:

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá základními šumy a zkresleními, objevujícími se v hudebních záznamech. Šumy a zkreslení jsou v této bakalářské práci popsány slovně i matematicky. Dále práce obsahuje spektrogramy některých hudebních signálů, které jsou ovlivněny těmito šumy a zkresleními a spektrogramy po jejich odstranění. Poslední částí je kapitola zabývající se rozdíly mezi reálnými a simulovanými nahrávkami a kapitola popisující grafický program, který generuje některé šumy a zkreslení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zvukové signály, Restaurování zvukových signálů, Harmonické rušení, Nelineární zkreslení, Šum na pozadí, Dočasné rušení

ABSTRACT

Thesis deals with the basic noise and distortion, appearing in the musical records. Noise and distortion in this bachelor thesis are described verbally and mathematically. Thesis also contains spectrograms some music signals, that are affected by noise and distortion and spectrograms after their removal. The last part is the chapter dealing with the differences between real and simulated signals and chapter describing program, that generated some noise and distortion.

KEYWORDS

Sound signals, Restoration of audio signals, Harmonic interference, Nonlinear distortion, Noise in the background, Temporal distortion.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

LEFLER, F. *Analýza a modelování základních typů šumů a zkreslení při restaurování hudebních záznamů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Rášo, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Analýza a modelování základních typů šumů a zkreslení při restaurování hudebních záznamů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledku vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Mým vedoucím bakalářské práce byl Ing. Ondřej Rášo, kterému děkuji za odbornou pomoc při její tvorbě.

Dále děkuji své rodině a kamarádům za stálou podporu při vytváření této práce.

OBSAH

1. Úvod	12
2. Druhy zkreslení signálů.....	14
2.1. Harmonické rušení.....	14
Hum	14
Buzz	16
2.2. Nelineární zkreslení.....	16
Impulzní rušení	16
Intermitentní rušení	17
Mezery a výpadky.....	18
Clipping.....	20
Intermodulace (nelineární zkreslení)	22
Širokopásmové rušení	24
Dynamické rušení	25
Aliasing	26
Kvantizační šum.....	27
Jitter.....	28
Slew rate distortion	29
Frequency response distortion	30
Crossover distortion	30
2.3. Šum na pozadí.....	31
Hiss	31
2.3.1. Stacionární.....	31
2.3.2. Nestacionární.....	32
2.3.3. S rovnoměrně rozdělenou výkonovou spektrální hustotou.....	32
Bílý šum	32
2.3.4. S nerovnoměrně rozdělenou výkonovou spektrální hustotou.....	34
Růžový šum.....	34
2.4. Dočasné rušení.....	35

Skupinové zpoždění.....	35
Fázový posun.....	37
Resonance.....	38
Akustické zkreslení.....	38
3. Srovnání zvukových ukázek šumů a zkreslení.....	40
3.1. Hum.....	40
3.2. Intermitentní rušení.....	41
3.3. Clipping.....	42
3.4. Mezery a výpadky.....	43
3.5. Impulsní rušení.....	44
3.6. Bílý šum.....	45
3.7. Akustické zkreslení.....	45
4. Aplikace pro simulování základních typů šumů a rušení.....	47
4.1. Clipping.....	47
4.2. Ostatní.....	49
Mezery a výpadky.....	49
Hum.....	50
Impulsní rušení.....	50
Bílý šum.....	51
5. Závěr.....	52
6. Seznam použité literatury.....	54
Seznam přílohy.....	56

SEZNAM VŠECH ZKRATEK

SNR	Signal to Noise Ratio
RMAA	Rightmark Audio Analyzer
ESP	Electric Shock Protection
API	Application Programming Interface

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Hodnota akustického tlaku v dB, pro spektrogramy použité níže v této kapitole.....	14
Obr. 2.2 Spektrogram hry na kytaru a šumu hum, jehož část je zakroužkována.	15
Obr. 3.2 Spektrogram hry na kytaru po odstranění humu.....	15
Obr. 2.4 Spektrogram impulzního rušení v hudebním záznamu. Některé impulznírušení je vyznačeno zelenými šipkami.	17
Obr. 2.5 Spektrogram nahrávky z gramofonu bez impulzního rušení.	17
Obr. 2.6 Spektrogram monologu a cinkání skleničky na pozadí. Některé intermitentní rušení je vyznačeno zelenými šipkami.	18
Obr. 2.7 Spektrogram monologu s odstraněným intermitentním rušením.....	18
Obr. 2.8 Spektrogram hudebního záznamu s výpadkem.	19
Obr. 2.9 Spektrogram hudebního záznamu před výpadkem.	19
Obr. 2.10 Spektrogram opraveného hudebního záznamu.....	19
Obr. 2.11 Původní spektrum hry na bicí nástroj.	20
Obr. 2.12 Opravené spektrum hry na bicí nástroj.....	20
Obr. 2.13 Spektrogram hlasu v telefonu ovlivněný clippingem.....	21
Obr. 2.14 Spektrogram hlasu v telefonu po odstranění clippingu.....	21
Obr. 2.15 Perioda telefonního signálu ovlivněného clippingem.....	22
Obr. 2.16 Perioda telefonního signálu po odstranění clippingu.	22
Obr. 2.17 RMAA graf Intermodulčního rušení u CD walkmana. [11].....	23
Obr. 2.18 RMAA graf intermodulačního rušení u CD walkmana po zapnutí ochrany ESP (Elektronic Shock Protection). [11]	24
Obr. 2.19 Rozdíl mezi signálem bez dynamického rušení ve vrchní polovině a s dynamickým rušením ve spodní polovině. [12].....	26
Obr. 2.20 Horní graf zobrazuje signál, jenže je navzorkován dostatečně. Spodní graf zobrazuje signál, jenže navzorkován dostatečně není a proto tu vznikl aliasing.[17].....	27
Obr.2.21 Obrázek kvantizačního šumu (modrá), původního signálu, zelená, rekonstruovaného signálu (červená). [18].....	28
Obr.2.22 Jsou tu vidět tři hodinové signály. První z nich neobsahuje jitter vůbec. U druhého signálu byly vynechány některé impulzy pro přepnutí hladiny. Třetí signál obsahuje jitter v podobě ztrojení krátkých časových úseků.[19].....	29
Obr.2.23 Původní signál má červenou barvu a signál narušený slew rate distortion má barvu modrou.[20]	30
Obr.2.24 Graf signálu osahující crossover distortion.[20]	31
Obr. 2.25 Spektrogram hry na kytaru bez bílého šumu.	33
Obr. 2.26 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 60 dB.	33
Obr. 2.27 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 40 dB.	33

Obr. 2.28 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 20 dB.	33
Obr. 2.29 Spektrální analýza bílého šumu.....	34
Obr. 2.30 Spektrální analýza růžového šumu.	35
Obr.2.31 A: Práh slyšitelnosti podle Blauert a Laws. B: Typický pro třípásmový systém se středním rozsahem. C: Typický pro třípásmový skříňový systém. [14].....	36
Obr.2.32 Závislost skupinového zpoždění na frekvenci u filtru se záporným zpožděním. Analogový systém (modrý), diskretní systém (červený).[16].....	36
Obr.2.33 Původní signál (červený) a signál se skupinovým zpožděním nebo fázovým posunem (modrý).[15]	37
Obr. 3.34 Hum z veřejných zdrojů.....	40
Obr. 3.35 Hum pořízené doma.....	40
Obr. 3.36 Pouze hum, pořízené doma.	41
Obr. 3.37 Intermitentní rušení z veřejně dostupných zdrojů.	41
Obr. 3.38 Intermitentní rušení nahrané v domácím prostředí.	42
Obr. 3.39 Rušení clipping z veřejně dostupných zdrojů.....	42
Obr. 3.40 Rušení clipping pořízené v domácím prostředí.....	43
Obr. 3.41 Záznam signálu s nasimulovanou mezerou.	43
Obr. 3.42 Záznam hudebního signálu s výpadky, pořízeného v domácím prostředí.....	43
Obr. 3.43 Nasimulované impulsní rušení.	44
Obr. 3.44 Impulsní rušení nahrané z gramofonu.	44
Obr. 3.45 Simulace bílého šumu na pozadí.....	45
Obr. 3.46 Reálný záznam skladby s bílým šumem na pozadí.....	45
Obr. 3.47 Spektrogram záznamu z velké. Mikrofon byl natočený od zdroje zvuku.	46
Obr. 3.48 Spektrogram záznamu z menší místnosti. Mikrofon byl natočen od zdroje zvuku.	46
Obr. 3.49 Spektrogram záznamu z male místnosti. Mikrofon byl natočen od zdroje zvuku.....	46
Obr. 4.50 Rušení clipping, který nasimulovala aplikace.....	49

1. Úvod

Při nahrávání nebo přenosu zvukových záznamů může dojít k jejich znehodnocení díky šumům, nebo chybám v datových sítích. Ke znehodnocení zvukového záznamu může dojít také vlivem času, mechanickým poškozením zvukového nosiče, nebo při digitalizaci záznamu. Pro posluchače mají tyto šумы rušivý efekt, kterého je třeba se zbavit, avšak věda zatím stále neumí dostatečně rekonstruovat všechny signály, které jsou takto pozměněny.

Velkou skupinu zvukových záznamů tvoří hudba. Hudební signály jsou tvořeny hudebními nástroji a lidským hlasem a současně jsou nositeli hudební informace [3][4]. V případě, že se jedná pouze o akustický záznam, tak bývá lidský hlas vynechán. Na rozdíl od většiny záznamů řeči, hudba obsahuje větší část slyšitelného spektra a je komplexnějším signálem. Dále je hudební záznam zpravidla více časově proměnný než řeč, protože není závislý pouze na jednom řečníkovi, tedy jednom hlasovém ústrojí [5]. Liší se i jejich subjektivní vnímání. Z těchto důvodů je rekonstrukce hudby mnohem obtížnější, než rekonstrukce řeči.

Při rekonstrukci hudebních signálů je nejdůležitější, ještě více neznehodnotit daný signál. Tedy při odstranění šumu neodstranit žádný důležitý prvek žádoucího signálu. Hudba má základní vlastnosti, kterými se od sebe odlišují jednotlivé skladby a které definují hudební projev. Těmi jsou harmonie, melodie a rytmus. Harmonie určuje stavbu či kladení akordů a jejich spojování. Melodie jsou skladatelem rytmicky organizované sekvence jednotlivých tónů, navazujících na sebe tak, aby byla vyjádřena hudební myšlenka. Rytmus je pak časová složka hudby, střídání různých délek a dob [3][4][6].

Největší nynější problém se šumem vznikajícím v hudebních záznamech je při restaurování a digitalizaci analogových nahrávek. Pro různé typy analogových médií, jsou i typické různé šумы, které mohou souviset s jejich výrobou nebo špatnou odolností proti vlivům okolí. Například gramofonové desky nemívají harmonické rušení, zato ale velice trpí na rušení impulzní. Restaurování hudebních záznamů je důležité, pro zachování starých, ale významných děl hudební historie.

Cílem bakalářské práce je seznámit se, se šumy a zkresleními, které se nejčastěji objevují při restaurování hudebních signálů. V této práci jsou šумы slovně popsány a matematicky definovány. Dále je u některých případů popsána rekonstrukce původního signálu a postup odstranění jeho deformací. Součástí bakalářské práce je i program, ve kterém je většina těchto šumů graficky znázorněna a kde lze měnit jejich základní vlastnosti. Tento program slouží pro lepší pochopení níže zmíněných šumů a jeho popis se nachází v poslední kapitole. Pro porovnání šumů v reálném prostředí s těmi simulovanými, slouží kapitola Srovnání zvukových ukázek šumů a zkreslení, která ukazuje, jak se šумы od sebe navzájem liší. Výjimku v této kapitole tvoří

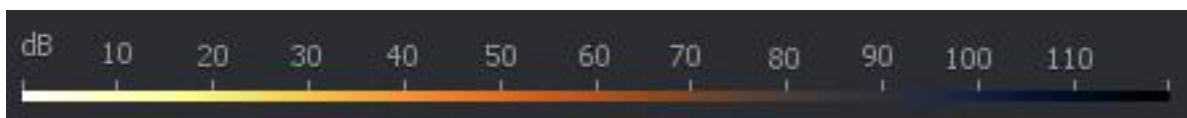
akustické zkreslení, jež se snaží porovnat reálnou místnost s místností, kde dochází k velkému množství odrazů.

2. Druhy zkreslení signálů

Pro zkreslení popisovaná v této kapitole je mnohdy použito jejich volné označení, jež většinou vychází z angličtiny, i přesto, že zbytek práce je psán v českém jazyce. Názvy nebyly přeloženy, protože jejich překlad bývá problematický. Avšak ke každému anglickému názvu, je udán jeho význam, jenž bývá odvozen od rušivého zvuku, který šum vydává.

Výčet níže uvedených šumů a zkreslení není kompletní a je zaměřen na šумы objevující se při rekonstrukci hudebních záznamů. V praxi se však většinou vyskytuje více než jeden typ rušení současně.

Většina použitého zvukového materiálu v této práci pochází z materiálů pro výuku programu iZotope RX. Opravy zkreslených záznamů jsou provedeny v softwarovém nástroji iZotope RX 3, odkud pocházejí i veškeré spektrogramy.



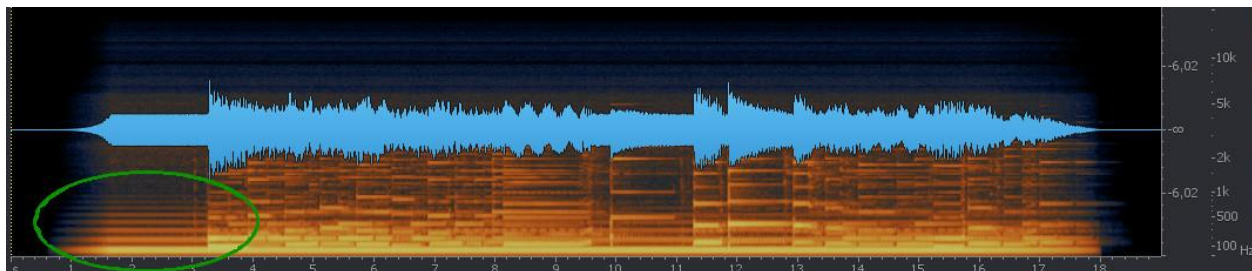
Obr. 2.1 Hodnota akustického tlaku v dB, pro spektrogramy použité níže v této kapitole.

2.1. Harmonické rušení

Hum

Název tohoto šumu je odvozen od rušivého zvuku, který vydává. Překlad slova hum z anglického jazyka znamená hučení. Rušení hum se vyskytuje na kmitočtech odpovídajících celočíselným násobkům 50 nebo 60 Hz. Nejčastěji vzniká elektromagnetickou indukci harmonického signálu z rozvodné sítě nebo ze zemnicích smyček signálových spojení ve zvukových systémech. Tento šum je problémem jen na nízkých kmitočtech, protože se zvětšujícím se kmitočtem slábne [1]. V praxi se používá tzv. anti-hum filtr, který nepropouští kmitočty v rozsahu 49 - 51 Hz nebo 59 – 61 Hz.

Na obr. 2.2 je zobrazen spektrogram záznamu hry na kytaru s rušením hum [7]. Vidíme, že šum je největší na kmitočtu 60 Hz, dále slábne a kolem 1kHz je již zanedbatelný. Nejlépe je šum vidět v prvních 3 sekundách záznamu, které jsou zakroužkovány zeleně, kdy ještě nezačala hrát hudba.



Obr. 2.2 Spektrogram hry na kytaru a šumu hum, jehož část je zakroužkována.

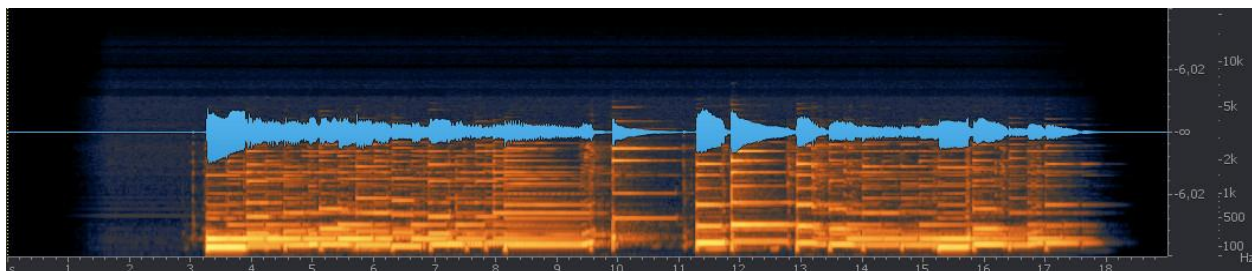
Matematická definice rušení hum zní

$$y(n) = x(n) + m(n) \quad (1)$$

kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je nezkraslený signál, $m(n)$ je harmonický šum, který lze vyjádřit funkcí

$$m(n) = \sum_{n=1}^i A_n \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2)$$

kde A je amplituda šumu, ω je úhlová rychlost, i je počet násobku 50 nebo 60 Hz, je obsahují rušení hum a t je čas a φ_0 je fáze posunu signálu.



Obr. 3.2 Spektrogram hry na kytaru po odstranění humu.

Na obr. 2.3 vidíme, jak se změní spektrogram z obr. 2.2 po odstranění nežádoucího harmonického signálu. Zvuk kytary je pro posluchače takřka nezměněný, avšak zmizely rušivé složky signálu. Odstranění zkreslení hum probíhá v několika krocích. Nejprve je nutné určit nosnou frekvenci signálu. V tomto případě to bylo 60 Hz. Následně je třeba určit o kolik decibelů se nosná frekvence a další harmonické musí snížit. Všechny informace o šumu lze získat ze začátku nahrávky, kdy ještě nepůsobí užitečný signál.

Buzz

Buzz v překladu z anglického jazyka znamená bzukot, což odpovídá zvuku, který vydává. Skládá se z harmonických složek a vzniká elektromagnetickou indukci stejně jako hum. Na rozdíl od něj, se však vyskytuje na vyšších frekvencích. Toto rušení vytváří například zářivka.

2.2. Nelineární zkreslení

Je zkreslení, které nelze vyjádřit ve tvaru: $y(n) = kx(n) + q$. Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je nezkreslený signál a k, q jsou konstanty, které mění nezkreslený signál. Tato skupina zkreslení se sestává z velkého počtu rušení, z nichž některé jsou vypsány níže.

Impulzní rušení

Většinou náhodný, širokopásmový a krátký jev, od čehož je odvozen i název. Často se vyskytuje na starých nahrávkách u gramofonových desek [1]. Může však vzniknout i na nově pořízených záznamech, především díky elektrostatickým výbojům. Ty se vytváří za pomoci pohyblivých částí nahrávacích zařízení například v elektroakustických měničích [8]. Impulzní rušení lze matematicky popsat jako

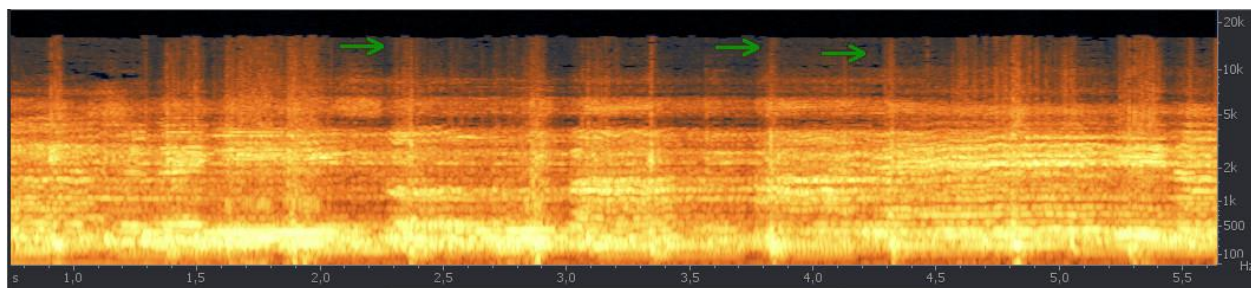
$$y(n) = \left\{ \begin{array}{ll} x(n); m(N = n) = 0 & \text{Normální stav} \\ z(n); m(N = n) = R & \text{Impulzní rušení} \end{array} \right\} \quad (3)$$

kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál, $z(n)$ je původní signál, který ale obsahuje impulzní rušení, R je reálné číslo a $m(N = n)$ je pravděpodobnost výskytu zkreslení, odpovídající rovnici

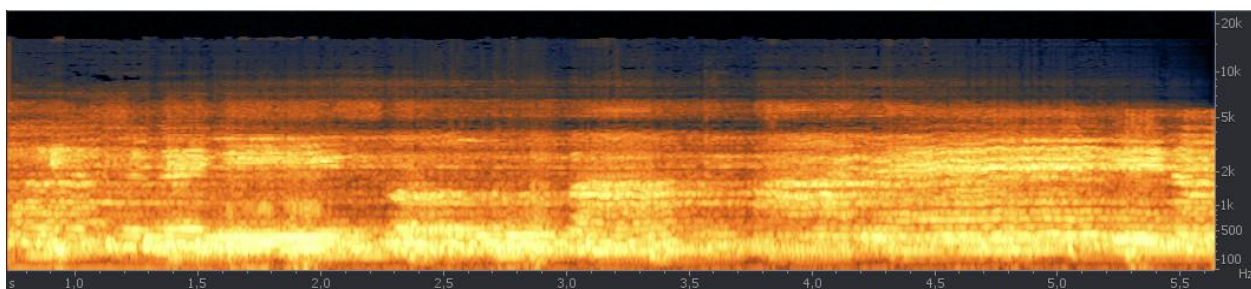
$$m(N = n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} \quad (4)$$

kde lze pro všechny hodnoty $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ náhodné veličiny N vyjádřit pomocí parametru $\lambda > 0$. Impulzní šum lze tedy matematicky vyjádřit podle poissonova rozdělení (4).

Impulzní rušení je vidět na Obr. 2.4. Některé impulzy procházející celým frekvenčním spektrem a jsou na spektrogramu vyznačeny zelenými šipkami. Záznam je pořízen z gramofonu, konkrétně z desky vyrobené roku 1980. Zmíněné impulzní rušení nevzniklo jako poškození mechanickým předmětem, ale znehodnocením desky vlivem času.



Obr. 2.4 Spektrogram impulzního rušení v hudebním záznamu. Některé impulznírušení je vyznačeno zelenými šipkami.



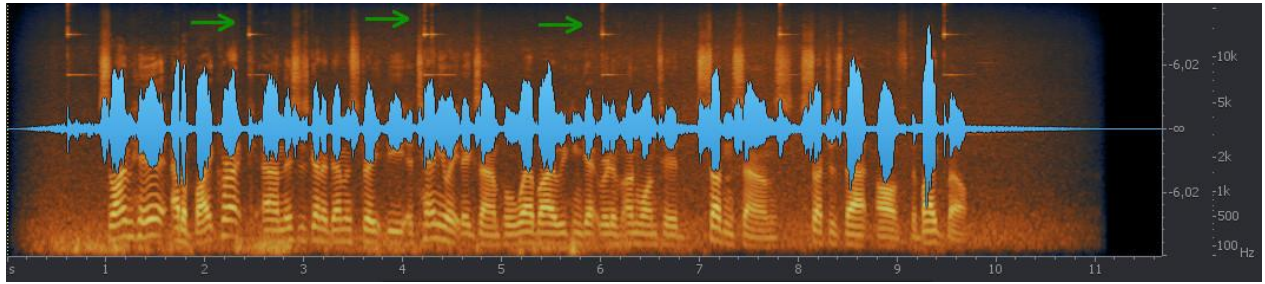
Obr. 2.5 Spektrogram nahrávky z gramofonu bez impulzního rušení.

Mezi spektrogramem z obr. 2.4 a 2.5 je vidět obrovský rozdíl, který je způsoben odstraněním impulzního rušení. Toto rušení bylo odstraněno pomocí nástroje spektrální rekonstrukce. Místa se zvýšeným akustickým tlakem byla snížena na poměry okolí. Odstranění impulzního rušení lze také udělat manuálně, pomocí snižování úrovně akustického tlaku v konkrétních, krátkých a širokopásmových částech nahrávky. Avšak pro tuto nahrávku, která není v příliš dobrém stavu, by to bylo zdlouhavé.

Intermitentní rušení

Intermitentní lze přeložit jako občasný. Připomíná impulzní rušení, tj. na pozadí záznamu se občasně vyskytuje rušivý zvuk. Vzniká nejčastěji díky jinému akustickému zdroji zvuku, jako je sklenice nebo hudební nástroj, v pozadí [1].

Na obr. 2.6 vidíme širokopásmové rušivé signály, které se občasně vyskytují na pozadí ve spektrogramu monologu anglického mluvčího [7]. Ty jsou způsobeny jiným akustickým zdrojem zvuku. Nejlépe je viditelný na vyšších frekvencích, kde se nepřekrývá s hlasem mluvčího. Některé intermitentní rušení jsou znázorněny zelenými šipkami.

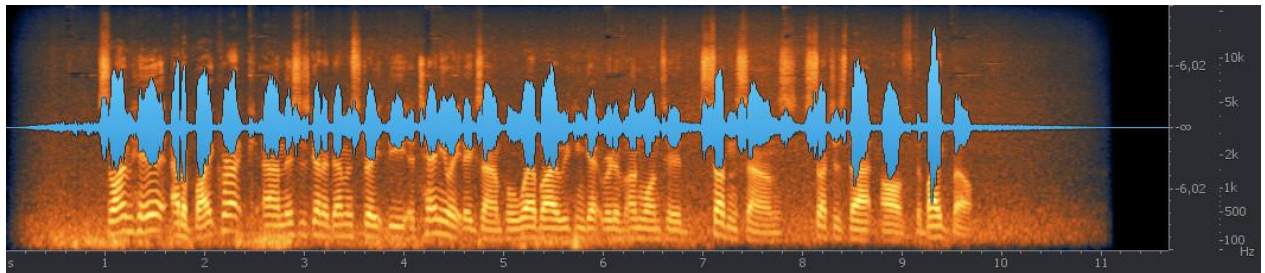


Obr. 2.6 Spektrogram monologu a cinkání skleničky na pozadí. Některé intermitentní rušení je vyznačeno zelenými šipkami.

Intermitentní rušení lze nejlépe popsat jako

$$y(n) = x(n) + g(n) \quad (5)$$

kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je nezkrácený signál a $g(n)$ je další signál, občasně se vyskytující na záznamu.



Obr. 2.7 Spektrogram monologu s odstraněným intermitentním rušením.

Na obr. 2.7 vidíme stejný monolog jako na obr. 2.6, avšak zde je ručně odstraněno intermitentní rušení. Záznam již tedy neobsahuje cinkání skleničky na pozadí. Intermitentní rušení bylo odstraněno pomocí snižování dB v místech znehodnocení záznamu, tedy v krátkých širokopásmových úsecích a v delších úsecích se stejným kmitočtem.

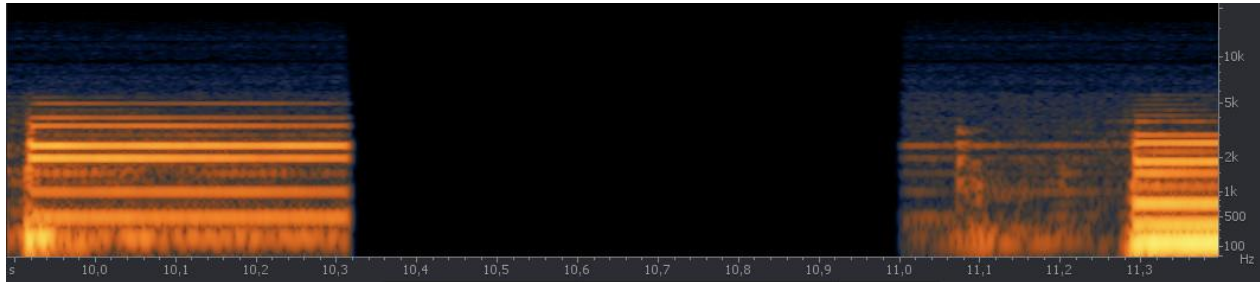
Mezery a výpadky

Většinou se projevují jako nežádoucí chvilkové přerušení signálu. Vznikají při jeho zaznamenávání nebo cestě přes datovou či multimediální síť. Často jsou způsobeny ztrátou paketů při nekvalitním přenosu dat nebo mechanickým poškozením analogových a digitálních záznamových médií [1]. Matematicky lze mezery a výpadky vyjádřit

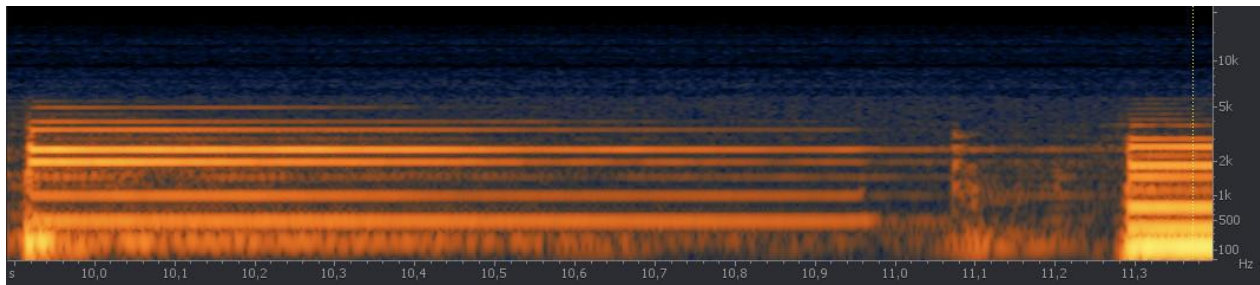
$$y(n) = \begin{cases} x(n); z(n) = x(n) & \text{normální stav} \\ 0; z(n) = 0 & \text{Mezera, výpadek} \end{cases} \quad (6)$$

kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál a $z(n)$ je původní signál, obsahující výpadky.

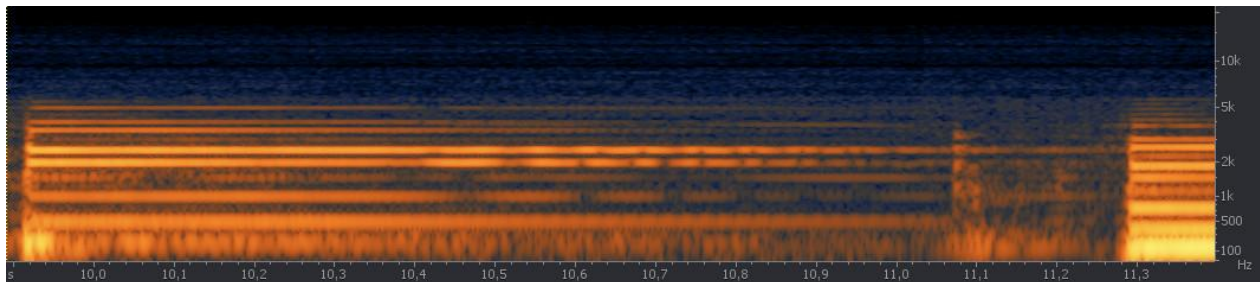
Na Obr. 2.8 vidíme část spektrogramu záznamu hry na kytaru [7]. Tato část je dlouhá 1,5 sekundy a nachází se v ní téměř 0,7 sekund dlouhý výpadek. Tento výpadek je uměle vytvořený, s cílem nasimulovat tento typ degradace.



Obr. 2.8 Spektrogram hudebního záznamu s výpadkem.



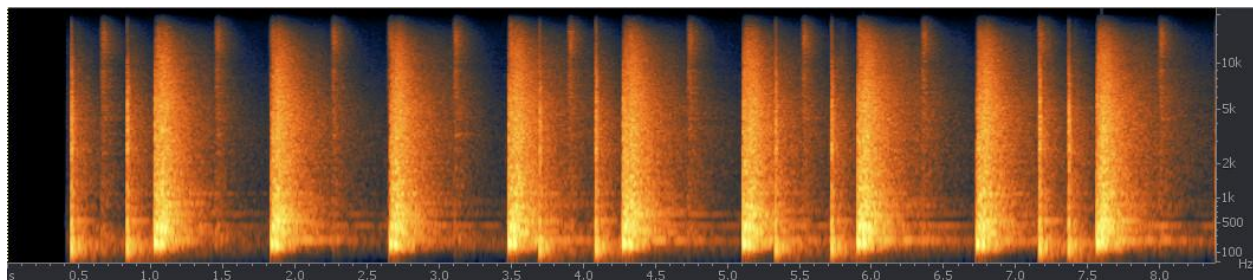
Obr. 2.9 Spektrogram hudebního záznamu před výpadkem.



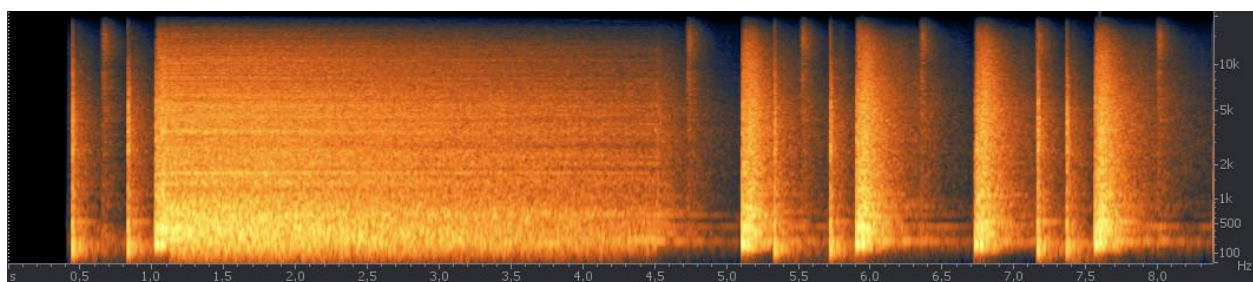
Obr. 2.10 Spektrogram opraveného hudebního záznamu.

Rekonstrukce hudebního záznamu, ve kterém se nacházejí mezery a výpadky, bývá problematická. Nevíme totiž s jistotou, jaký signál by měl na místě mezery být. Signál lze zrekonstruovat poměrně přesně za předpokladu, že v celém časovém pásmu mezery jeho akustický tlak pro danou frekvenci pouze lineárně roste nebo klesá. Na obr. 2.9 a 2.10 vidíme spektrum stejného signálu [7]. V prvním případě je signál neporušený, avšak ve druhém případě jsou některé kmitočty zeslabeny. To je způsobeno rekonstrukcí nasimulované mezery. Tato rekonstrukce probíhá především zkoumáním přímého okolí mezery a implementací jejich změn do místa mezery. V tomto případě spojení stejného kmitočtu, na začátku a konci výpadku,

signálem, který je zeslabován. Míru zeslabování určuje jednak rozdíl mezi akustickým tlakem na začátku a na konci výpadku a také míra zeslabení v okolí před a za výpadkem. Čím je mezera menší, tím je menší šance, že signál, který má být nahrazen, byl lineární.



Obr. 2.11 Původní spektrum hry na bicí nástroj.



Obr. 2.12 Opravené spektrum hry na bicí nástroj.

Příkladem, kdy mezeru nelze nahradit správným signálem je hra na bicí [7], pokud tedy nemáme přesné informace o časech, kdy zazněly jednotlivé bubny. Mezera začínala v 1,2 s a končila v 4,5 s. Akustický tlak hry na bicí se nemění lineárně, ale periodicky se opakuje a obsahuje skokové rozdíly. Proto tato poškozená část spektra nemůže být rekonstruována stejným způsobem jako spektrum na obr. 2.10, což můžeme vidět i na obr. 2.12.

Clipping

Název clipping znamená, v překladu z anglického jazyka, výstřižek. Název je odvozen z jevu, který clipping vytváří, tedy pomyslného vystřihnutí části spektra signálu. Nastává, když je signál zesílen nad své možné maximum. Pokud není napájení zesilovače schopno dodat dostatek napětí nebo proudu, bude zesilovat jen do maximálního zesílení, jenž zvládne, tj. bude v saturaci. Clipping nejčastěji nastává při nahrávání živého koncertu nebo záznamu rozhovoru. Může nastat i v jiných případech, jako je hra na bicí [1]. Signál v normálním stavu a v saturaci lze matematicky vyjádřit

$$y(n) = \begin{cases} x(n); & m \geq x(n) \\ z(n); & m < x(n) \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} \text{původní signál} \\ \text{ořezaný signál} \end{array} \right\} \quad (7)$$

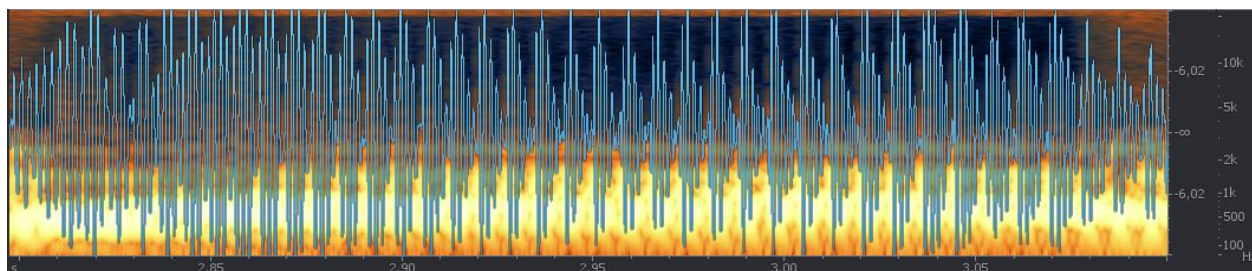
kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál $z(n)$ je signál v saturaci a m je konstanta, při které signál dosahuje saturace.

Na obr. 2.13 vidíme část rozhovoru [7]. Rozhovor probíhá přes telefonní přístroj, který způsobuje vznik clippingu. Signál hlasu se dostává do saturace prakticky v každé periodě, což se projevuje, jako rovná čára u dolního a horního okraje spektrogramu. Nejvíce je signál zkreslen na začátku nahrávky, kdy má mluvčí nejsilnější hlas. Na konci však již hlasem klesá a proto tu je signál bez zkreslení.

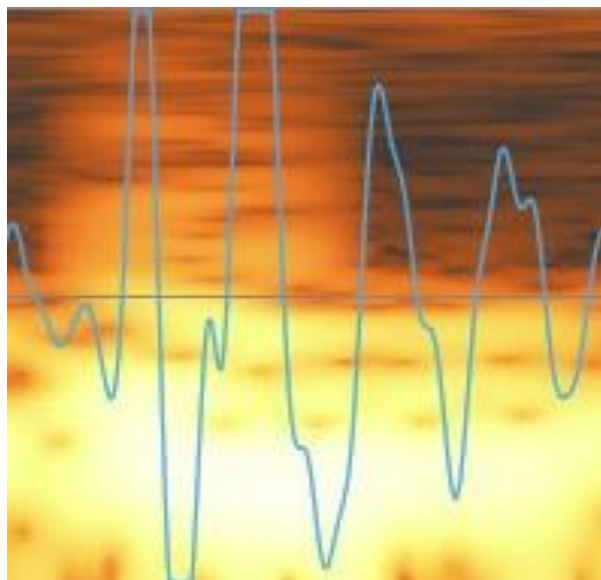


Obr. 2.13 Spektrogram hlasu v telefonu ovlivněný clippingem.

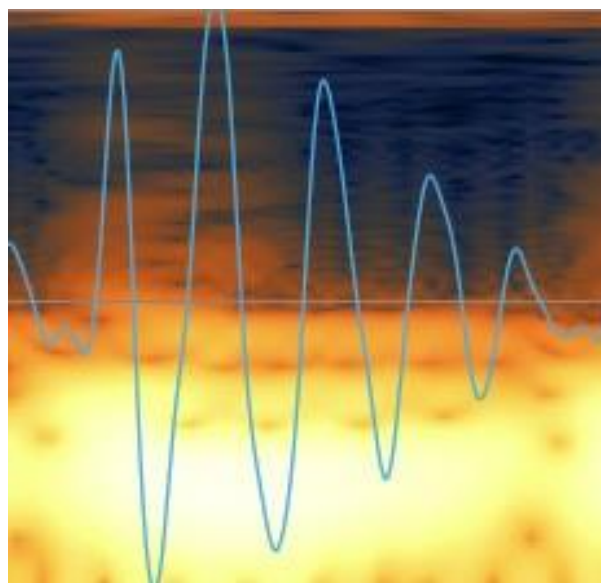
Na obr. 2.14 lze vidět, jak se změní signál ovlivněný clippingem, při jeho opravě. Tento signál, na rozdíl od signálu na obr. 2.13, je snížen o několik dB. To je dobře patrné i v horní části pozadí, tedy na vyšších kmitočtech. V původním spektrogramu je pozadí oranžové až šedé, což značí, že úroveň akustického tlaku je okolo - 80 dB. V opraveném spektrogramu je pozadí modré, úroveň akustického tlaku se tedy pohybuje okolo - 100 dB. Místy sice pořád saturace dosahuje, avšak s menším zkreslením. Pro snížení úrovně akustického tlaku se musí rekonstruovat špičky signálu pomocí inteligentní interpolace [7]. To provádí nástroj Denoise. To je nejlépe patrné na obr.2.16, kde je zobrazena jen jedna perioda opraveného signálu.



Obr. 2.14 Spektrogram hlasu v telefonu po odstranění clippingu.



Obr. 2.15 Perioda telefonního signálu ovlivněného clippingem.



Obr. 2.16 Perioda telefonního signálu po odstranění clippingu.

Na obr. 2.15 je vidět jedna perioda zkresleného telefonního signálu. Jsou tu jasně patrné části, jež se nachází v saturaci a vytvářejí degradaci signálu, tedy clipping. Na rozdíl od tohoto spektrogramu můžeme na obr. 2.16 vidět jednu periodu již opraveného signálu. Části nacházející se v saturaci jsou minimální a proto se tu clipping takřka nenachází.

Intermodulace (nelineární zkreslení)

Je jev amplitudové modulace dvou nebo více signálů, které mají rozdílné frekvence. Většinou se jedná o nosnou (požadovaný signál) a další nežádoucí frekvence. Tyto signály nejsou pouze

harmonické, ale obsahují také frekvenční součty a rozdíly, vycházející z původního signálu. Dále mohou obsahovat i násobky těchto součtů a rozdílů. Intermodulace je založena na nelineárních vlastnostech používaných při zpracování signálu. U audio zpracování signálu vytváří tzv. Sidebandy. To jsou frekvence, jež jsou ve srovnání s nosnou frekvencí, o poznání nižší nebo naopak vyšší. V rádiových přenosech zvyšuje toto rušení požadavky na šířku pásma, kvůli možnosti interference mezi jednotlivými kanály. Intermodulace se vyskytuje u nelineárních systému obsahující aktivní prvky, tedy prvky mající externí zdroj napájení.[13]

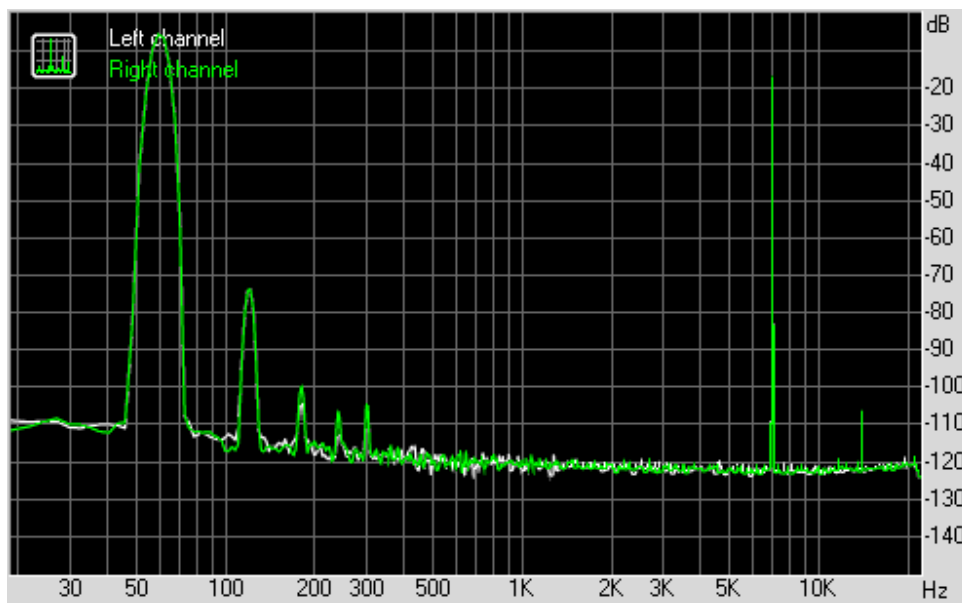
Matematická definice intermodulace je

$$y(n) = x(n) * k(n) \quad (8)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je popis všech vstupních signálů s různými frekvencemi a $k(n)$ je funkce modulace těchto signálů.

$$x(n) = \sum_{n=1}^i M_n \sin(2f_n t + \varphi_n) \quad (9)$$

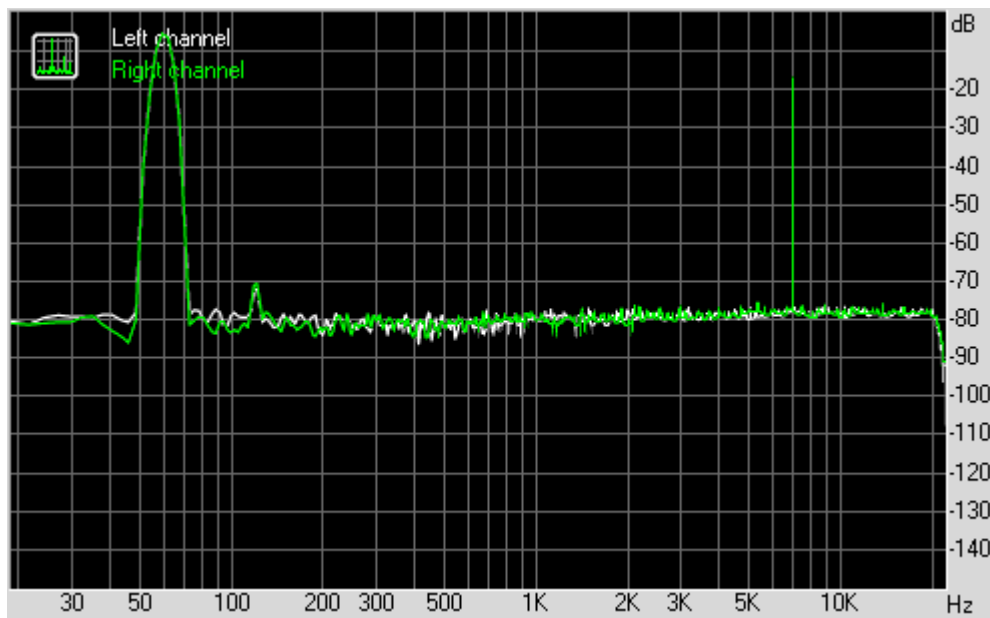
M je amplituda, φ je fáze jednotlivých signálů, f je frekvence a t je čas.



Obr. 2.17 RMAA graf Intermodulačního rušení u CD walkmena. [11]

Intermodulační rušení je patrné jak na obrázku 2.17 tak 2.18. Původní užitečný signál by se měl vyskytovat jen v oblasti přibližně -110 až -120 dB. Na obr.2.23 vidíme, že díky intermodulačnímu rušení, dosahuje signál místy až -10 dB. Obr.2.18 ukazuje stejný užitečný signál, který je ale přehráván s ochranou ESP. Tato funkce bývá běžnou součástí walkmanů, čemuž je důvodem i

Intermodulační rušení. Jak je vidět, tak část rušení byla potlačena a prakticky zůstala jen drobná deformace signálu kolem 7 000 Hz a největší deformace z obr.2.17 kolem 60 Hz.



Obr. 2.18 RMAA graf intermodulačního rušení u CD walkmana po zapnutí ochrany ESP (Elektronic Shock Protection). [11]

RMAA graf intermodulačního rušení u CD walkmana po zapnutí ochrany ESP (Elektronic Shock Protection). [11]

Existuje také pasivní intermodulace (PIM). Ta se, na rozdíl od běžné intermodulace, vyskytuje v pasivních, prvcích jako jsou kabely a antény. PIM vzniká smícháním dvou či více hlasitých tónů v nelineárním zařízení. To bývá způsobeno místem dotyku dvou různých kovů, dotyk kovu a oxid či uvolněným konektorem. Čím vyšší jsou amplitudy signálů, tím vzniká větší efekt nelinearity a roste intermodulační jev. PIM se může objevit, i když zařízení je řádně zkontrolováno a nejeví žádné známky nelineárního systému. [13]

Dále se může objevit přechodné intermodulační zkreslení (TIM). TIM se vyskytuje u zesilovačů, využívajících zápornou zpětnou. Když je signál zpožděn a zesilovač není schopen tak rychle korigovat zkreslení.

Širokopásmové rušení

Lze jej také zařadit do skupiny amplitudových rušení. Jeho vznik vychází z velikosti rozsahu slyšitelného spektra, jež je daný reproduktorový systém schopný produkovat. Pokud totiž vysoké nebo nízké frekvence klesnou o 3 a více dB, tak se již nejedná o vyvážené frekvence a proto nejsou součástí užitečné signálu a jsou z reprodukce signálu vyňaty. Vzniká v kombinaci skladeb,

kde není dodržen rozsah u výšek a hloubek signálu ± 3 dB a reproduktorové soustavy, která není schopna tento rozsah reprodukovat. [13]

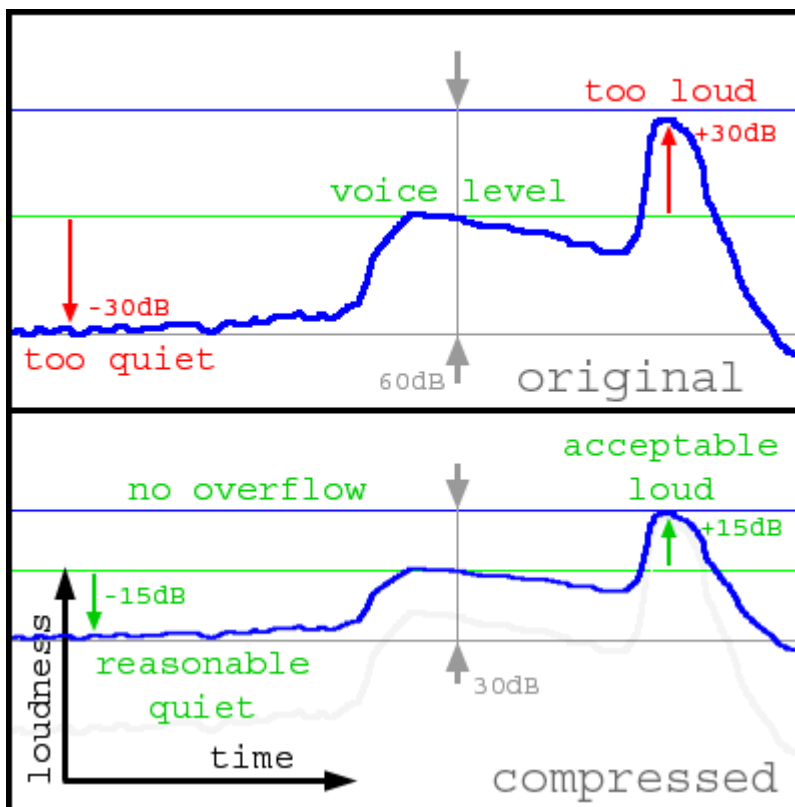
Rovnice tohoto rušení je

$$y(n) = \left\{ \begin{array}{ll} x(n); |x(n)_{max} - x(n)_{min}| \leq 3dB & \text{normální stav} \\ z(n); |x(n)_{max} - x(n)_{min}| > 3dB & \text{vyřazení některých složek signálu} \end{array} \right\} \quad (10)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je signál původní, $z(n)$ je původní signál bez složek, které přesahují rozsah ± 3 dB a reproduktorový systém je není schopen generovat. Horní okraj požadovaného generovaného spektra je označen $x(n)_{max}$ a spodní $x(n)_{min}$.

Dynamické rušení

Vzniká především kompresí hudby do různých ztrátových kompresních formátů, jako jsou mp3, wma, ogg atd. Tyto formáty sice šetří místo, jež skladby zabírají, avšak dochází zde také k jejich znehodnocení. Největší problém bývá při zasazování hloubek a výšek do co nejužšího pásma. To se projevuje například při kombinaci tiché a „jemné“ pasáže, která je následována hlasitou částí skladby. Tyto pasáže by měli kontrastovat a hlasitá část by proto měla být ještě více zvýrazněna. U komprese dochází k znehodnocení tohoto jevu a tento kontrast se částečně vytrácí. Dále tu jsou problémy s hlasitostí špiček, většinou u bicích nástrojů při záznamech živé hudby. Kompresní formáty díky těmto dvěma problémům ničí pocit živé hudby. Opravení skladby v těchto formátech je pro běžného uživatele takřka nemožné. [13]



Obr. 2.19 Rozdíl mezi signálem bez dynamického rušení ve vrchní polovině a s dynamickým rušením ve spodní polovině. [12]

Na obr.2.19 je vidět výše popisovaný jev dynamického rušení. V první části (text: original) je rozdíl mezi zeslabeným a zesíleným signálem 60 dB. Zatím co v druhé části (text: compressed) je tento rozdíl poloviční, díky použitému kompresnímu formátu. Požadovaný kontrast mezi hlasitým maximem s tichým minimem signálu se tu tedy vytrácí, protože rozdíl mezi tichým a hlasitým signálem z druhé části obrázku se rovná rozdílu střední hodnoty od maxima hlasitého signálu.

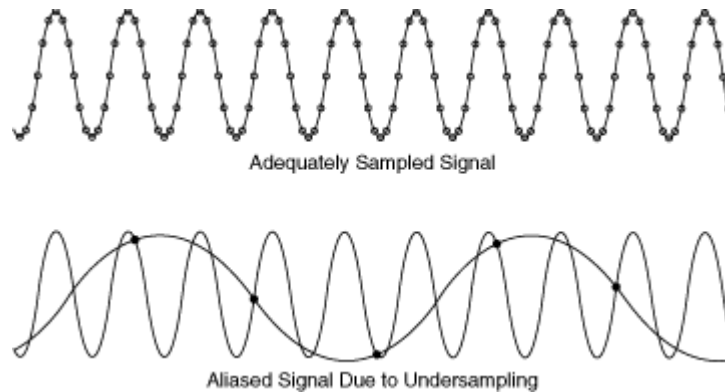
Aliasing

Je nežádoucí jev. Dochází k němu při převodu spojitého signálu na nespojitý. To se provádí pomocí vzorkování, tedy zaznamenání určitých bodů původního signálu. Z těchto zaznamenaných bodů se poté signál rekonstruuje. Vzorkování se využívá především při převodu analogového signálu na signál digitální. V případě, že není splněn Shannonův teorém, tedy že, vzorkovací frekvence není alespoň dvakrát větší než největší frekvence harmonických složek vzorkovaného signálu, dojde k aliasingu. To znamená, že každá perioda původního signálu musí být navzorkována alespoň ve dvou bodech. Aby nedocházelo k aliasingu například při převodu analogového signálu na CD, musí být vzorkovací kmitočet alespoň 44,1 kHz. Lidský sluch je obvykle schopen vnímat kmitočty do 22 kHz. Aliasing způsobuje například spojení několika

špiček do jedné. Aliasing se velmi těžce odstraňuje, proto je důležité mu předcházet. Podmínky vzniku aliasingu lze matematicky definovat takto

$$y(n) = \left\{ \begin{array}{ll} z(n); & 2f_{vz} < \text{maximální frekvence } x(n) \quad \text{aliasing} \\ x(n); & 2f_{vz} \geq \text{maximální frekvence } x(n) \quad \text{normální stav} \end{array} \right\} \quad (11)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál, $z(n)$ je původní signál s aliasingem a f_{vz} je vzorkovací frekvence.



Obr. 2.20 Horní graf zobrazuje signál, jenž je navzorkován dostatečně. Spodní graf zobrazuje signál, jenž navzorkován dostatečně není a proto tu vznikl aliasing.[17]

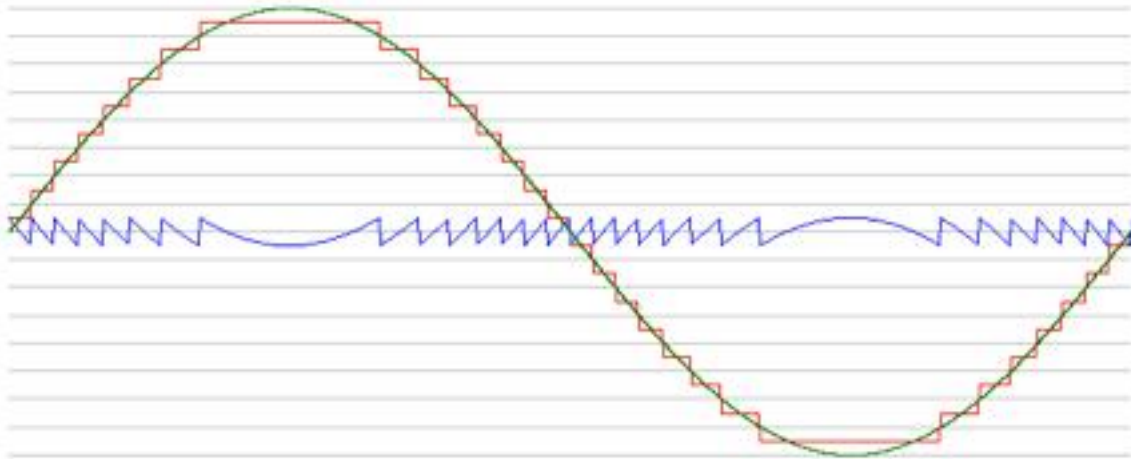
Na obr.2.20 je jasně vidět, co se může stát, když není splněna podmínka pro zamezení aliasingu. Jak je vidět, tak vzorkovací frekvence dolního grafu nejen, že není dvakrát větší než frekvence signálu, ona je dokonce menší. Proto z původního signálu, jenž je vidět i v horní části obrázku, se po navzorkování stává signál s pětkrát menší frekvencí.

Kvantizační šum

(quantization noise): Vyskytuje se stejně jako aliasing u převodu analogových a digitálních signálů. Kvantizační šum je odchylka původního signálu a signálu, který byl navzorkován a poté rekonstruován. Kvantizační šum klesá s rostoucím vzorkovacím kmitočtem, avšak jeho úplné odstranění je téměř nemožné. Dostatečně vysokým vzorkovacím kmitočtem však lze zajistit, aby kvantizační šum nebyl v rekonstruovaném signálu problémem. Výsledný signál je funkcí SQNR(Q), která je popsána níže. Čím je tato hodnota větší, tím máme více kvantovacích hladin a výsledný signál se více podobá tomu původnímu.[13]

$$SQNR(Q) = 20 \log_{10}(2^Q) \quad (12)$$

SQNR je velikost kvantizačního šumu ve výsledném signálu a Q je počet kvantizačních bitů.



Obr.2.21 Obrázek kvantizačního šumu (modrá), původního signálu, zelená, rekonstruovaného signálu (červená). [18]

Na obrázku 2.21 můžeme pozorovat rozdíl mezi navzorkovaným signálem a signálem rekonstruovaným. Je vidět, že při rekonstrukci se signál vyskytuje jen v určitých hladinách, které od sebe mají vždy stejnou vzdálenost. Hladina, která je v daném místě nejbližší původnímu signálu, je v daném místě použita pro rekonstruovaný signál. Velikost odchylky původního signálu od rekonstruovaného signálu je vidět uprostřed jako grafu modrou barvou.

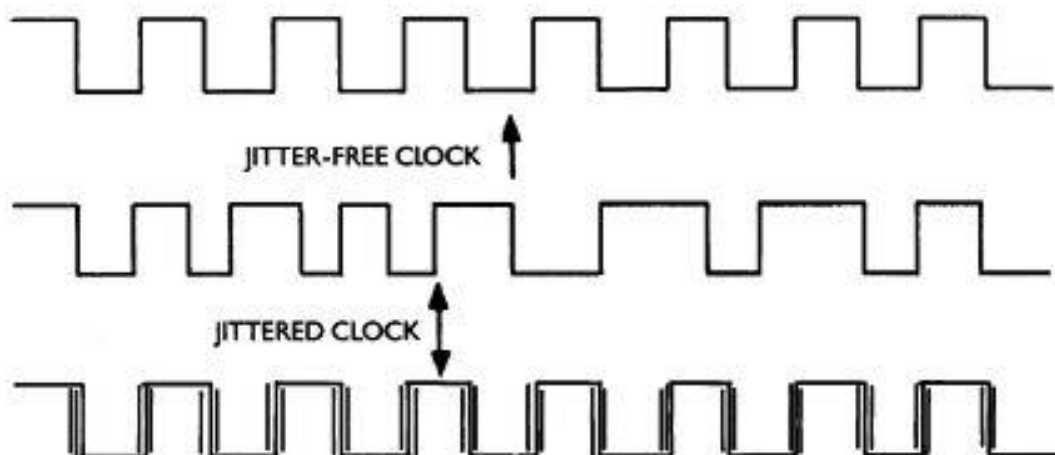
Jitter

V hudebních signálech znamená zdvojení nebo vynechání krátkého úseku skladby. To je nejčastěji způsobeno při čtení audio stopy z CD, kdy se čtecí hlava nestihne přesunout a zvolenou čtecí rychlostí nestihne přečíst všechny data. Odstranění probíhá až později v PC pomocí softwaru. Lze tomu i předcházet speciálním pomalým čtecím režimem audio CD, který ale musí obsahovat přímo mechanika.[13]

Rovnice:

$$y(n) = \left\{ \begin{array}{ll} x(n); \text{ čtení signálu } x(n) & \text{normální stav} \\ z(n); \text{ přesun čtecí hlavy} & \text{zkreslení} \end{array} \right\} \quad (13)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je signál původní a $z(n)$ je také původní signál, ve kterém se ale vyskytuje skreslení jitter.



Obr.2.22 Jsou tu vidět tři hodinové signály. První z nich neobsahuje jitter vůbec. U druhého signálu byly vynechány některé impulzy pro přepnutí hladiny. Třetí signál obsahuje jitter v podobě ztrojení krátkých časových úseků.[19]

Jitter je jasně patrný v porovnání prvního a dalších dvou hodinových signálů na obr.2.22. Zatímco v prvním případě signál pravidelně střídá maximum a minimum v druhém už tomu tak není. Je to způsobeno rušením jitter, kdy dojde ke ztrátě některých částí signálu, v tomto případě těch, měnící hladinu. Na třetím hodinovém signálu je jitter jasně patrný jako ztrojený signál při změně hladiny hodinového signálu.

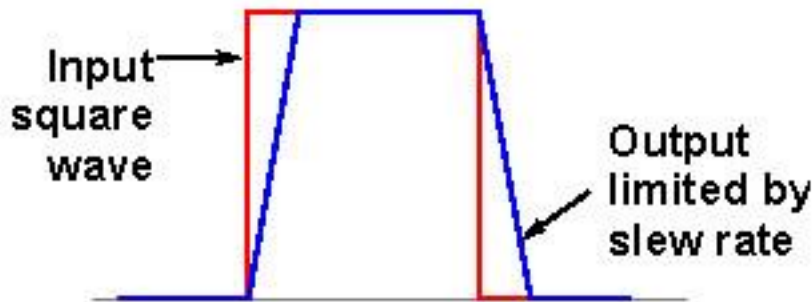
Slew rate distortion

Je jev, kdy maximální rychlost změny výstupního napětí za jednotku času není dostačující. Tedy, když výsledné zesílení nebo zeslabení signálu trvá delší dobu, než je požadováno. Nejčastěji se objevuje u signálů, které mají velmi strmý až skokový pokles nebo nárůst amplitudy, jako jsou například obdélníkové nebo pilovité signály. Rušení slew rate se vyskytuje v audio zesilovačích, které nejsou schopny zvládnout maximální rychlost zesílení signálu, která je po nich požadována.

V níže popsané rovnici je pro jednoduchost použito slovní spojení doba zesílení signálu. Toto slovní spojení však lze zaměnit i s dobou zeslabení signálu a pro které tato rovnice platí také.

$$y(n) = \left\{ \begin{array}{ll} x(n); \text{ doba zesílení signálu } x(n) < \text{ požadovaná doba} & \text{normální stav} \\ z(n); \text{ doba zesílení signálu } x(n) > \text{ požadovaná doba} & \text{zkreslení} \end{array} \right\} \quad (14)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál a $z(n)$ je zkreslený původní signál.



Obr.2.23 Původní signál má červenou barvu a signál narušený slew rate distortion má barvu modrou.[20]

Obrázek 2.23 ukazuje jak rušení slew rate může ovlivnit obdélníkový signál. Je tu jasně patrné časové zpoždění, mezi dosáhnutím maxima u vstupu, tedy u původního signálu, a u výstupu, tedy zkresleného signálu. Toto časové zpoždění se poté opakuje i při strmém poklesu.

Frequency response distortion

Je rušení, ke kterému dochází díky zesilování různých frekvencí různými hodnotami. Hlavními důvody toho rušení v případě deformace zvuku jsou špatné reproduktory či mikrofony, nevyvážená prostorová akustika nebo dlouhé reproduktorové kabely s kombinací frekvenční závislosti impedance reproduktoru. V případě deformace frekvence je příčinou například nejednotná frekvenční charakteristika AC převodníku spolu s kaskádovým zesilovačem.

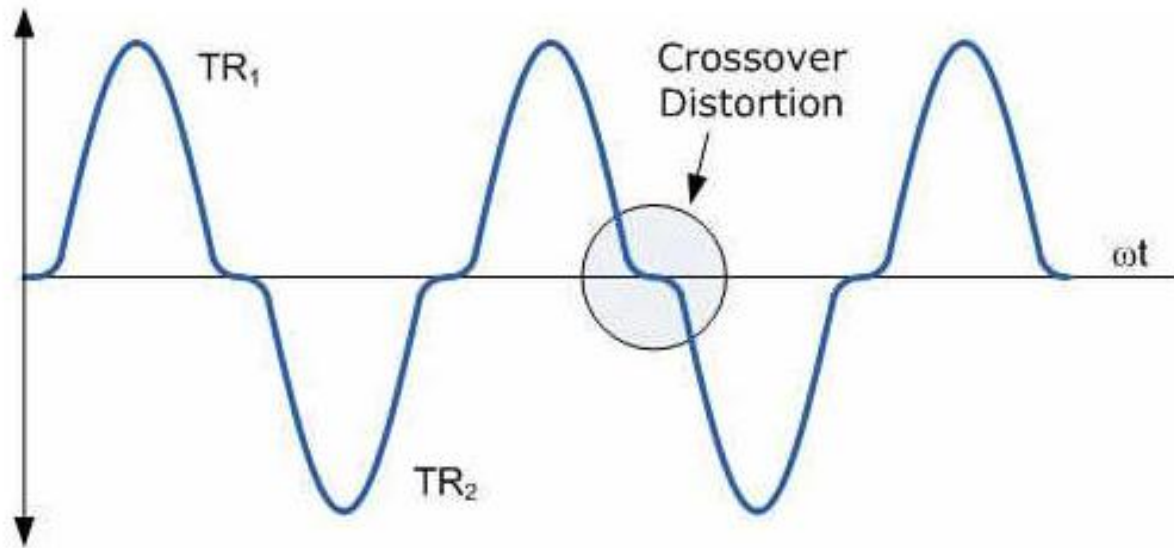
Crossover distortion

Je typ zkreslení způsobené přepínáním mezi zařízeními řídící zátěž, nejčastěji když jde o uzavřenou smyčku. Často se vyskytuje například u zesilovacího stupně třídy B. Tento zesilovač půlku sinusoidy zesiluje a druhou půlku potlačuje. Crossover distortion se projevuje jako snížení strmosti signálu v oblasti nuly.

Rovnice

$$y(n) = \begin{cases} x(n); & M_i \geq k & \text{normální stav} \\ z(n); & M_i < k & \text{snížení strmosti změny signálu} \end{cases} \quad (15)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál, $z(n)$ zkreslený signál, M_i je amplituda signálu v daném bodu a konstanta k je hranice výšky signálu, kdy začne docházet k jeho deformaci.



Obr.2.24 Graf signálu obsahující crossover distortion.[20]

Obrázek 2.24 znázorňuje crossover distortion, kde je jedna z částí signálu blízkých 0 zakroužkována. Body TR_1 a TR_2 ukazují na první maximum a první minimum signálu, kdy k rušení nedochází.

2.3. Šum na pozadí

Vyznačuje se tím, že jeho výkon je menší než výkon užitečného signálu, a proto jej vnímáme jen na pozadí. Ve vyšších frekvencích však výkonově převyšuje užitečný signál a dostává se do popředí. Na nízkých frekvencích bývá tento šum maskován a je tedy špatně slyšitelný. Šumy na pozadí lze rozdělit podle stacionarity na stacionární a nestacionární nebo podle výkonové spektrální hustoty na rovnoměrný a nerovnoměrný [1].

Hiss

Projevuje se jako „sykot“ na pozadí a má vysoké frekvence. Je způsoben použitými rozměry magnetických částic při výrobě analogových magnetických pásek. Je nestacionární a má nerovnoměrnou výkonovou spektrální hustotu [1].

2.3.1. Stacionární

Signál y_n je stacionární, jestliže jeho rozdělení pravděpodobnosti je v čase neměnné, tj. společné rozdělení pravděpodobnosti $(y_{R+1}, \dots, y_{R+2}, \dots, y_{R+T})$ není závislé na R . Můžeme tedy s nadhledem říci, že stacionární signál je takový signál, který se v čase nemění [9].

Do stacionárních šumů na pozadí patří barevné šумы. Barevné šумы mají jméno barvy jako analogie mezi frekvenčním spektrem šumu a spektrem barevného světla. Například bílé světlo obsahuje všechny barvy. Proto šum, který obsahuje všechny kmitočty stejným dílem, se nazývá bílý šum. Barevných šumů je velké množství, mimo jiné od bílého přes hnědé, modré, zelené až po černé. Nejznámější je však bílý a růžový šum. Ty jsou popsány níže [10].

2.3.2. Nestacionární

Je signál, který neodpovídá definici stacionárního signálu, tj. jeho rozdělení pravděpodobnosti je v čase proměnné. Nestacionární je například akustický signál větrného proudění nebo výše uvedený hiss.

2.3.3. S rovnoměrně rozdělenou výkonovou spektrální hustotou

Bílý šum

Je náhodný signál s rovnoměrnou výkonovou spektrální hustotou. Signál má stejný výkon v jakémkoli pásmu shodné šířky. Tedy pásmo široké 10 Hz mezi 10 Hz a 20 Hz má stejný výkon jako pásmo mezi 3000 Hz a 3010 Hz. Čím je menší výkonový rozdíl mezi šumem a užitečným signálem, tím větší zkreslení nastává. Bílý šum je používán například pro zarušení rozhovoru na pozadí záznamu. Prakticky se ovšem příliš neobjevuje [1].

Pokud máme náhodný proces se spojitým časem, který má výkonovou hustotu konstantní pro všechna ω , pak lze psát

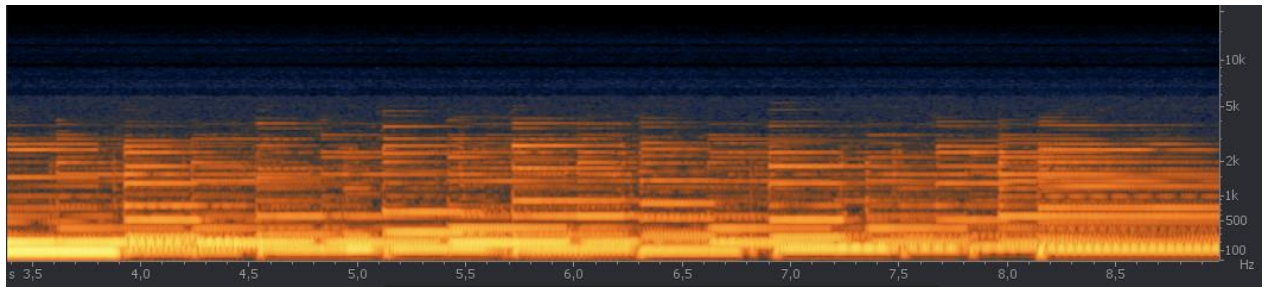
$$G_{xx}(\omega) = k, k \in \mathbb{R}, k > 0 \quad (16)$$

kde $G_{xx}(\omega)$ je výkonová spektrální hustota bílého šumu [2], k je konstanta, vyjadřující velikost rušení bílého šumu a ω je spektrum signálu.

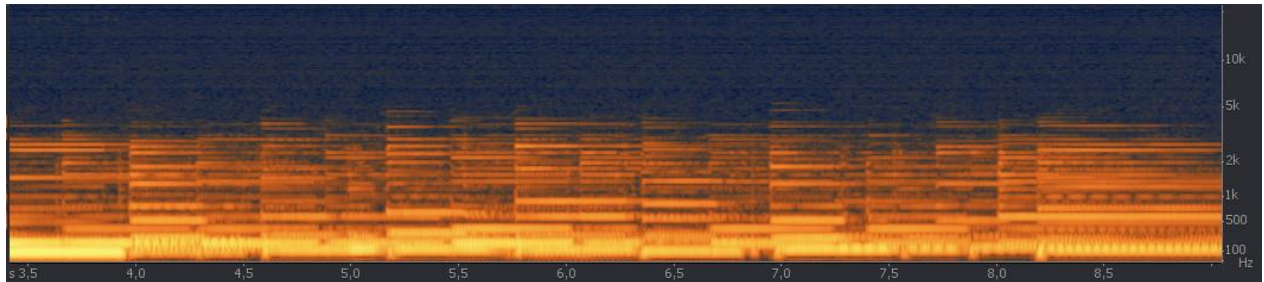
Pro stanovení rozdílů úrovní mezi výkony užitečného signálu a bílým šumem, bude použita veličina SNR. U této veličiny se běžně setkáme s definicí

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\sum_{n=0}^{N_c-1} x^2(n)}{\sum_{n=0}^{N_c-1} m^2(n)} \right) \quad (17)$$

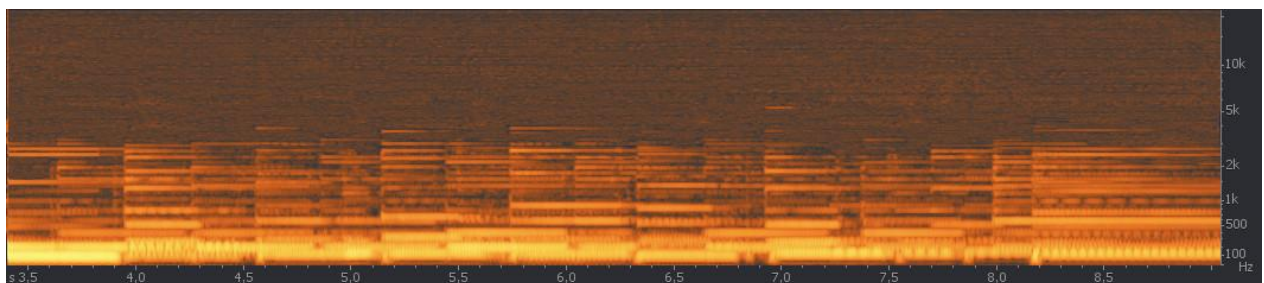
Kde N_c je celková délka obou signálů, tj. platí, že oba signály mají stejnou délku, $x(n)$ je požadovaný signál a $m(n)$ označuje bílý šum [1].



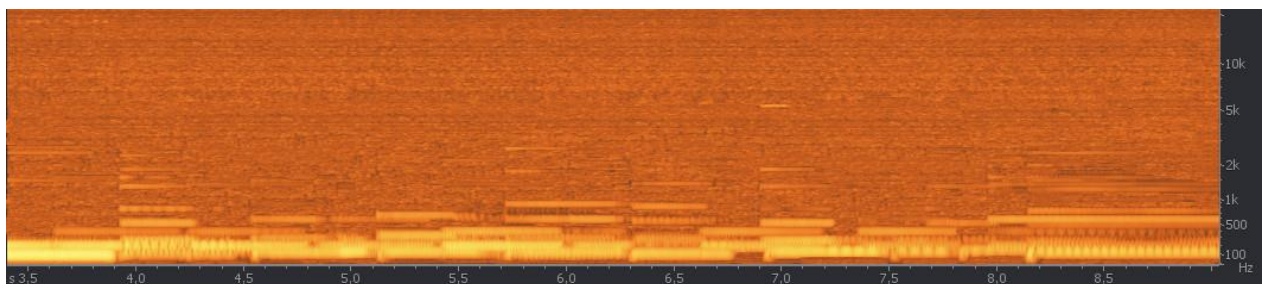
Obr. 2.25 Spektrogram hry na kytaru bez bílého šumu.



Obr. 2.26 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 60 dB.



Obr. 2.27 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 40 dB.



Obr. 2.28 Spektrogram hry na kytaru zarušený bílým šumem s hodnotou SNR = 20 dB.

Na obr. 2.25 až 2.28 je vidět 5,5 s záznam hry na kytaru, který je postupně zarušován bílým šumem. Největší rozdíl je patrný mezi prvním a posledním spektrogramem, kdy první je bez rušení, zatímco poslední je zarušený nejvíce. Části užitečného signálu s malým výkonem, vzhledem k částem s největším výkonem, jsou při SNR = 40 dB zarušeny šumem pozadí. V tomto případě je již také ve skladbě jasně slyšitelný šum na pozadí, jehož výkon odpovídá asi - 50 dB.

Spektrogram na obr. 2.26, kde SNR = 60 dB je zarušení nepatrné a oproti užitečnému signálu není v podstatě slyšitelné. Pokud se SNR = 20 dB, je šumem pozadí zarušena již většina spektra užitečného signálu, vyjma částí s maximálním akustickým výkonem. Šum se začíná přibližovat stejnému akustickému výkonu jako užitečný signál. Zároveň při poslechu vytváří rušivý zvuk, který znehodnocuje nahrávku a ta se pro běžného posluchače stává nepoužitelná.

2.3.4. S nerovnoměrně rozdělenou výkonovou spektrální hustotou

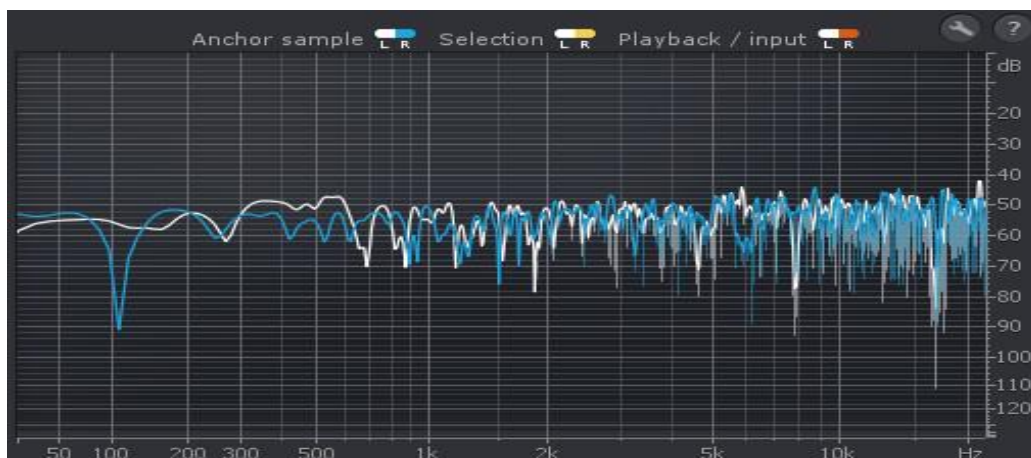
Růžový šum

Jeho akustický výkon klesá se zvětšující se frekvencí. Na vyšších kmitočtech je takřka neslyšitelný [10]. Nejčastěji se vyskytuje v elektrických zařízeních, dále se objevuje například v elektromagnetických radiačních výstupech některých astronomických institucí nebo v rytmech bití srdce. Růžový šum lze matematicky definovat podobně jako bílý, tedy

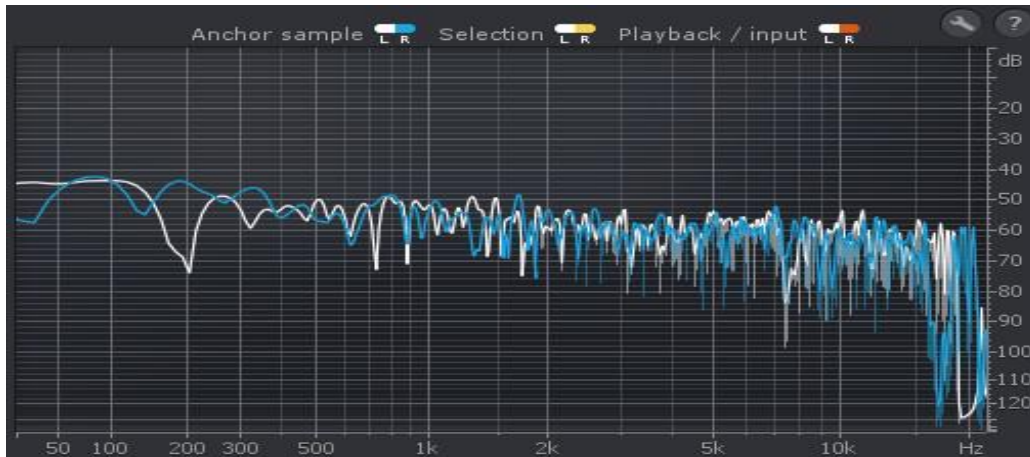
$$G_{xx}(\omega) = \frac{1}{f} \quad (18)$$

kde $G_{xx}(\omega)$ je výkonová spektrální hustota růžového šumu, ω je spektrum signál a f je frekvence signál.

Na obr. 2.29 je vidět, že v celém frekvenčním spektru má bílý šum stejnou intenzitu. V tomto případě okolo -60 dB. Na rozdíl od Obr. 2.30, kde je zobrazen růžový šum. Jeho intenzita je na nízkých kmitočtech největší. Na tomto obrázku začíná kolem -50 dB, na 1 kHz se pohybuje okolo -60 dB, v 10 kHz okolo -70 dB. Na nejvyšších zaznamenaných frekvencích, kolem 30 kHz, už intenzita dosahuje -120 dB.



Obr. 2.29 Spektrální analýza bílého šumu.



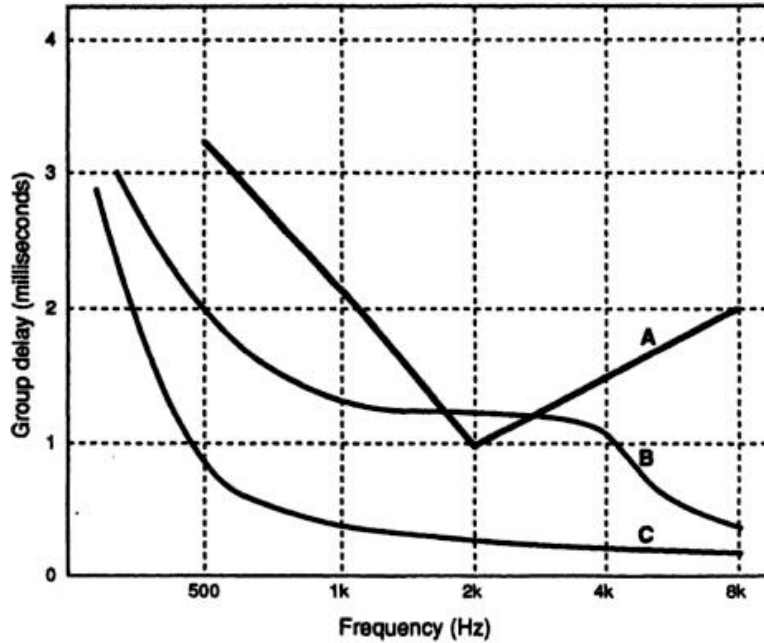
Obr. 2.30 Spektrální analýza růžového šumu.

2.4. Dočasné rušení

Vzniká z různých příčin a má i různé formy projevu ve skladbě. Obecně lze Dočasné rušení definovat jako rušení, vznikající posunutím signálu v čase. Dvě velice podobné rušení tohoto typu jsou posun úhlu fáze a skupinové zpoždění. Dále se sem řadí resonance nebo flutter a jiné. Některé se vyskytují jen u určitých typů médií, jako jsou analogové magnetické pásky.

Skupinové zpoždění

Je časová prodleva, závisící na frekvenci užitečného signálu. Často se vyskytuje u reprodukční soustavy, ve které se objevují jak normální tak mnoharmérové reproduktory, za použití technologie crossover networks. U takovéto soustavy je důležité znát její práh slyšitelnosti skupinového zpoždění. Po překročení tohoto prahu nelze signál reprodukovat zcela věrně. Existuje také tabulka (Blauert a Laws) pro přepočtení prahu slyšitelnosti podle frekvence, vytvořená roku 1978.[13] Z této tabulkou souvisí i graf na obr. 2.31, kde můžeme vidět rozdíly skupinového zpoždění v závislosti na frekvenci. Je tu patrné největší zkreslení pro třípásmový systém se středním rozsahem, nacházející se v okolí 2k Hz. V různých elektronických filtrech se skupinové zpoždění nejčastěji objevuje u maxima a následného frekvenčního poklesu, což má za následek zkreslení pulzu.

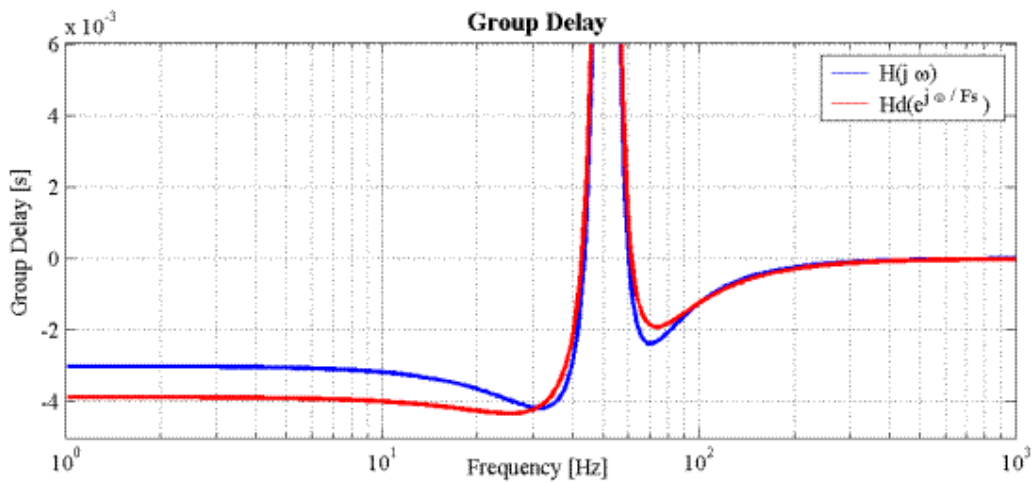


Obr.2.31 A: Práh slyšitelnosti podle Blauert a Laws. B: Typický pro třípásmový systém se středním rozsahem. C: Typický pro třípásmový skříňový systém. [14]

Matematická definice toho zpoždění zní

$$y(n) = \begin{cases} x(n); & f < \text{práh slyšitelnosti} & \text{normální stav} \\ z(n); & f > \text{práh slyšitelnosti} & \text{znehodnocení signálu} \end{cases} \quad (19)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál, $z(n)$ je zkreslený signál a f je velikost frekvence.



Obr.2.32 Závislost skupinového zpoždění na frekvenci u filtru se záporným zpožděním. Analogový systém (modrý), diskretní systém (červený).[16]

Na obr.2.32 je vidět jak se skupinové zpoždění mění v závislosti na frekvenci. Každý typ filtru bude mít takovýto graf odlišný. Je tu vidět, že diskrétní a analogový systém se liší přibližně o jednu milisekundu do 30 Hz. Poté, ve vyšších frekvencích, se neliší téměř vůbec. Dále nemůžeme pozorovat velikost zpoždění od 30 Hz do 50 Hz, protože jeho velikost je příliš velká.

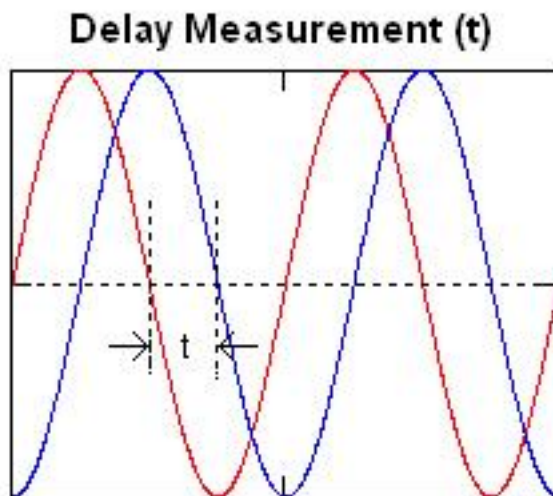
Fázový posun

Vzniká posunem fáze o určitý úhel, což napovídá již název. Může se tu vyskytovat i časové zpoždění, ale to na výsledné změně signálu nic nemění. Obě zkuslení, jak fázový posun, tak skupinové zpoždění, mají na skladbu stejný rušivý dopad. Dále mohou být obě zkuslení způsobeny mechanicky či elektronicky. Drobný posun úhlu fáze vzniká už v nahrávacích zařízeních. Tento posun bývá maximálně do 700°. Hranice slyšitelného zkuslení se pohybuje kolem 1440°, což jsou čtyři periody. Fázový posun může také vzniknout například při nahrávání zvuku více mikrofony, které ale nejsou správně seřizeny.[13]

Rovnice fázového posunu je

$$y(n) = x(n + \varphi) \quad (20)$$

Kde $y(n)$ je výsledný signál, $x(n)$ je původní signál a φ je úhel posunutí fáze signálu.



Obr.2.33 Původní signál (červený) a signál se skupinovým zpožděním nebo fázovým posunem (modrý).[15]

Na obr.2.33 Je jasně patrný rozdíl mezi původním signálem a signálem, který je ovlivněn skupinovým zpožděním nebo fázovým posunem. Velikost tohoto zpoždění je t . Pokud by se

jednalo o skupinové zpoždění, tak se zpoždění signálu nemění, protože má všude stejnou frekvenci.

Resonance

Je dalším typem dočasného rušení, lze jí ale také nazvat časová dilatace. Je velmi důležitá, protože u vysílacích systémů zabírá mnohem více prostoru, než u systémů nahrávacích. To znamená, že v reproduktorech se nashromáždí větší energie, než bylo původně zamýšleno. Pokud není reproduktorová skříň dobře utlumena a nepohlcuje dostatečně vnitřní vibrace, dojde k šíření těchto vibrací do prostoru mimo reproduktor. Díky tomu dochází ke znehodnocení hudby a ztrátě pocitu živé hudby, což je měřitelné pomocí kumulativního spektrálního rozkladu (cumulative spectral decay CSD).

Všechny tři výše zmíněné dočasné rušení se také objevují při přeměrování zvukových vln nebo jejich pozměnění za snímačem, ovládaným elektrickým signálem. Rezonanční dutiny a různé prostředky pro ovládání disperze způsobují změnu tvaru zvukových vln. Proto je nejlepší nechat převodník, aby rozptýlil zvuk bez interference.[13]

Další typy časového rušení se objevují u analogových magnetických pásek a LP. Nejčastěji se tu vyskytuje tzv. problém s rychlostí, tedy wow a flutter. Pokud se v přehrávacím systému liší rychlost přehrávání signálu, od rychlosti nahrávání signálu, tak může dojít ke změně výšky a tempa skladby. Wow je pomalu kmitající odchylka od správné rychlosti. Flutter je naopak rychle se měnící odchylka od správné rychlosti. Wow a flutter bývají obvykle velmi dobře slyšitelné, proto se musí gramofony pravidelně kontrolovat a nastavovat rychlost přehrávání přesně na 33,33 RPM. RPM je zkratka ze slovního spojení revolutions per minute, což udává počet rotací vinylové desky za minutu.[13]

Akustické zkreslení

Vzniká odražením zvukové vlny od stěn nebo objektů v místnosti. Ideálním řešením je bezodrazová komora, což je ale pro běžného člověka v praxi naprosto nepoužitelné. Další možnosti jsou sluchátka, headsety a další. Ty však mají jiné problémy, pro ně typické.

Nejpříjemnější způsob je neposlouchat hudbu v úplně prázdném pokoji. Ideální vybavení takového pokoje se skládá z čalouněného nábytku, knihovně plné knih či obrazy pověšené u zdi. Všechny tyto věci přispívají k utlumení odražených vln a tedy k lepší akustice v místnosti. Jsou tu ale i věci, které akustiku ničí, jako například plovoucí podlaha, otevřené prostory nebo velké skleněné tabule. Avšak bez ohledu na akustickou vyváženost v místnosti, nebude znít pasivní akustické pole přirozeně, dokud všechny akustické energie vyprodukované reproduktorem do místnosti, nebudou vyvážené. Je vhodné, aby zvuková vlna byla mírně vstřebána a zpomalena, než dorazí k posluchači. Zpoždění dává soustavě ucho-mozek čas na rozlišení přímé a odražené

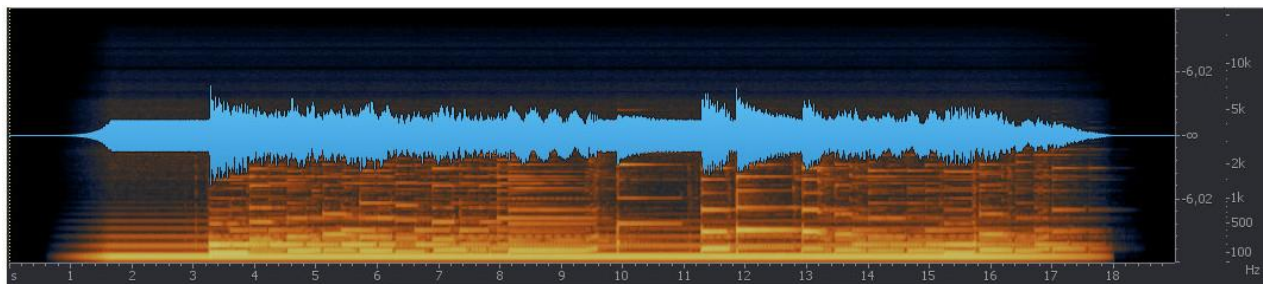
zvukové vlny. Dále je důležité udržet poměr přímých a odražených vln 1:1 nebo větší. To ale není v praxi vůbec jednoduché.

3. Srovnání zvukových ukázek šumů a zkreslení

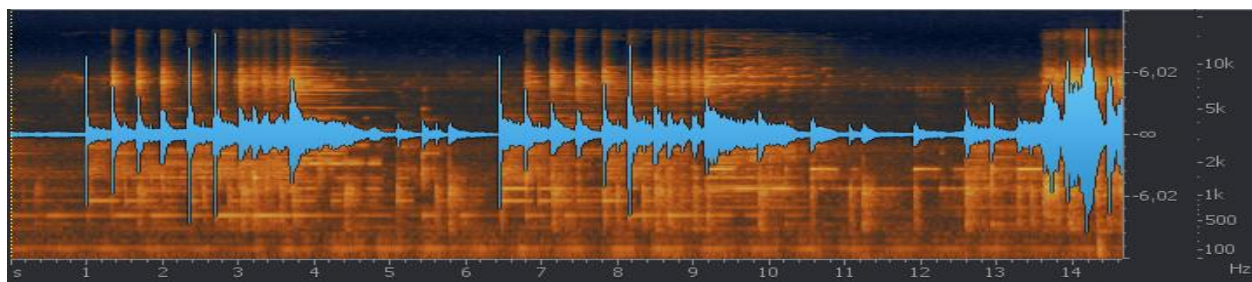
V této kapitole budeme pracovat s několika základními šumy uvedenými výše. Jsou tu srovnávány nahrávky stejného typu šumu či zkreslení. První z nich je získána z běžně dostupných zdrojů a druhá byla nahrána v domácím prostředí pomocí programu Audacity. Jako nosný signál byla použita část skladby od skupiny Kryštof.

3.1. Hum

Na obrázku 3.43 je vidět už výše použitý záznam šumu hum. V porovnání s obrázkem 3.35 je jasně patrné, jak tento šum postupně klesá se zvyšující se frekvencí a nízké kmitočty jsou jím zcela ovlivněny. U záznamu nahrávky pořízené v reálném prostředí, je sice vidět hum, jenž postupně klesá, avšak jeho rušení rozhodně není tak velké jako v předchozím případě. Nejlépe je rozdíl mezi nahrávkami patrný u nejnižšího kmitočtu (50 Hz), kde je šum nejsilnější. Rozdíl těchto dvou záznamů je způsoben rozptylem humu v reálném prostředí, kde většinou nedosahuje příliš vysokých hodnot.



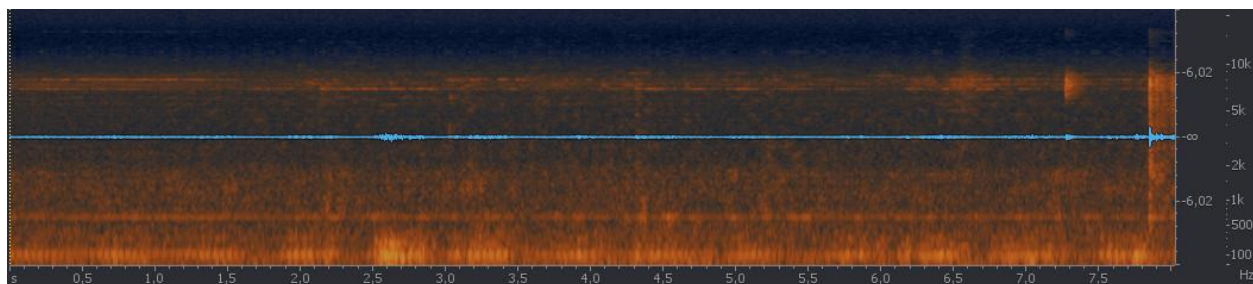
Obr. 3.34 Hum z veřejných zdrojů.



Obr. 3.35 Hum pořízené doma.

Pro porovnání se tu nachází ještě obrázek 3.36, který obsahuje pouze rušení hum. Tento záznam obsahuje i drobné intermitentní rušení na konci nahrávky, avšak to nás v tomto případě nezajímá. Záznam 3.35 jasně ukazuje, kde se rušení hum nachází a jak jsou které kmitočty ovlivněny. Tedy nejvíce jsou ovlivněny nejnižší a nejméně nejvyšší. Navzdory předpokladům je

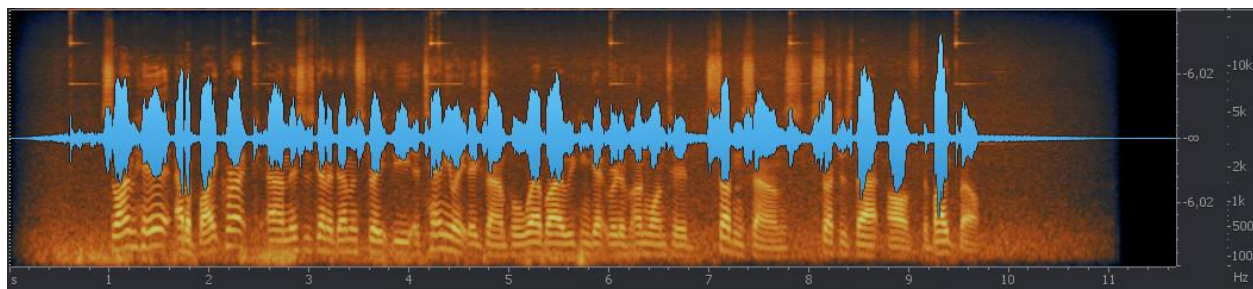
silně ovlivněna i frekvence kolem 550 Hz, což může být způsobena například chybou v mikrofonu nebo resonance humu v kuchyňské lince, do které je zářivka, jako zdroj rušení, zabudována.



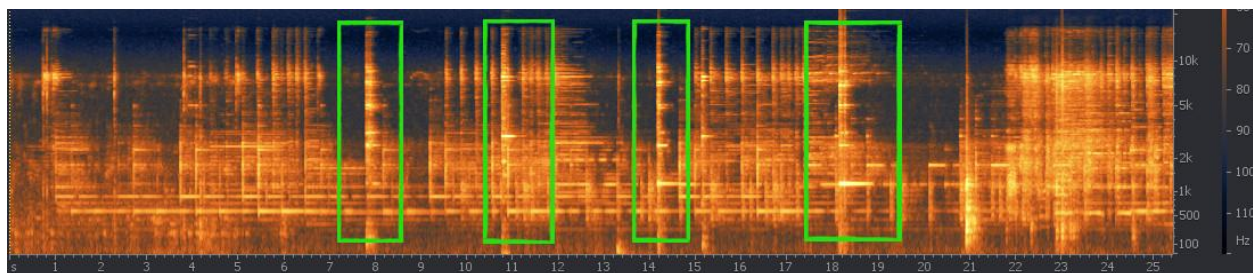
Obr. 3.36 Pouze hum, pořízené doma.

3.2. Intermitentní rušení

Obrázky 3.37 a 3.38 obsahují intermitentní rušení způsobené cinkáním skleničky. První zmíněný obsahuje několika sekundový záznam, kde se toto rušení vyskytuje vícekrát. Jak je vidět, má vždy stejný vliv na skladbu. Pro lepší přehlednost je na záznamu z obr. 3.38 intermitentní rušení vyznačeno zelenými obdélníky. Každé rušení má, na rozdíl od první ukázky, zvýrazněny jiné frekvence. Avšak první (nejvíce v levo), třetí a čtvrté jsou si velice podobná. Čtvrtý obdélník zároveň ukazuje dvě rychle po sobě jdoucí cinknutí. Díky rychlosti s jakým následovali, je mezi nimi téměř nepostřehnutelná mezera. I tento záznam obsahuje jiná než intermitentní rušení. Ty nás ale opět nezajímají. Rozdíly mezi jednotlivými rušeními u druhého záznamu jsou způsobeny především použitím různých původců rušení, v našem případě tedy různých skleniček.



Obr. 3.37 Intermitentní rušení z veřejně dostupných zdrojů.

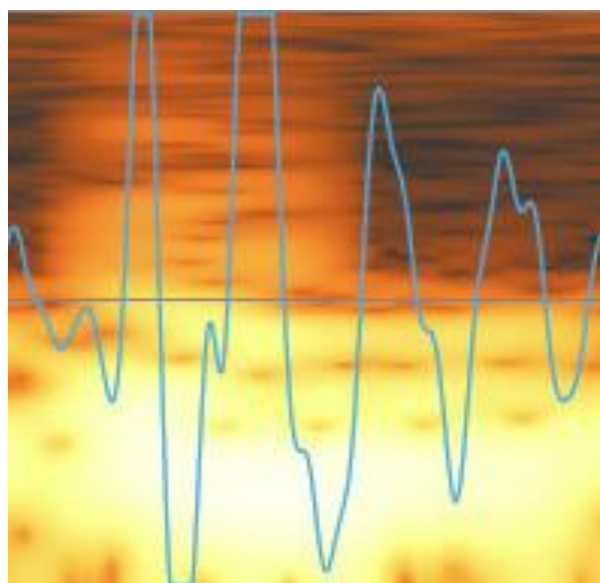


Obr. 3.38 Intermitentní rušení nahrané v domácím prostředí.

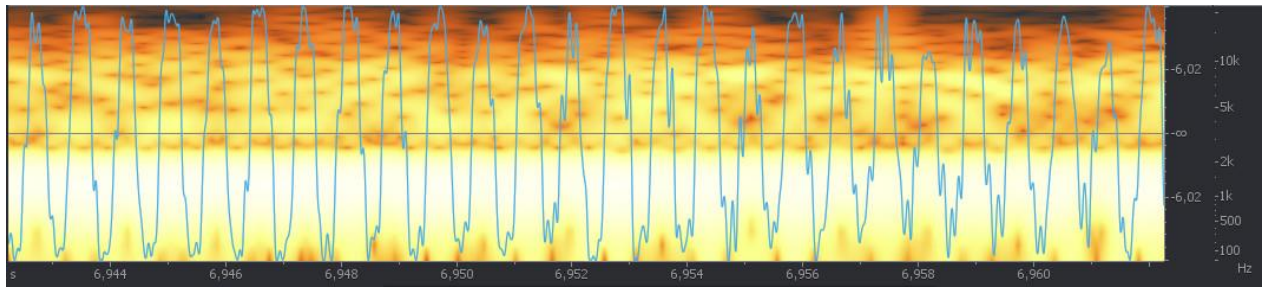
Pro lepší přehlednost bylo u druhého záznamu vypnuto znázorňování průběhu signálu modrou čarou, které zakrývalo většinu důležitých oblastí.

3.3. Clipping

Porovnání záznamu z obrázku 3.40 a 3.41 je na první pohled patrný rozdíl v ořezání signálu, který je v saturaci. U rušení z veřejně dostupných zdrojů je tento signál horizontálně ořezán po dosažení přípustného maxima. Naopak u druhého záznamu k takovému ořezání dochází jen zřídka kdy a spíše vidíme nerovnoměrné zákmity signálu, jež končí, když se signál ze saturace vrátí do přípustných mezí.



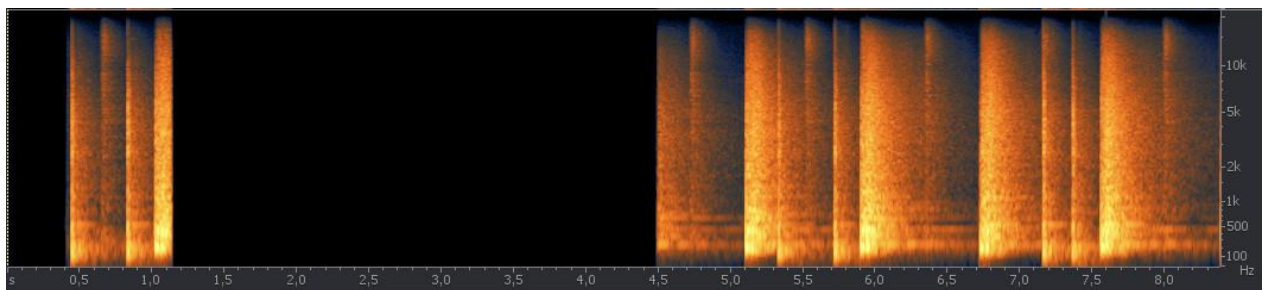
Obr. 3.39 Rušení clipping z veřejně dostupných zdrojů.



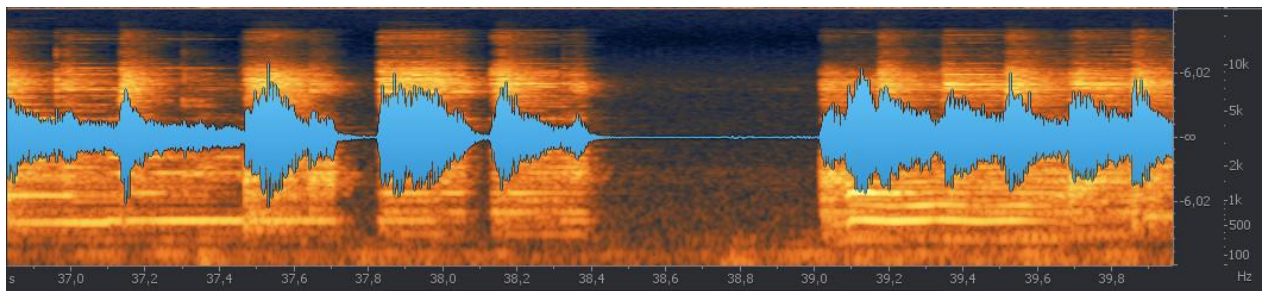
Obr. 3.40 Rušení clipping pořízené v domácím prostředí.

3.4. Mezery a výpadky

Mezi záznamem signálu s nasimulovanou mezerou (obr.3.41) a nahrávky (obr 3.42), kdy je skladba poškozena, můžeme pozorovat několik rozdílů. Na první pohled je jasně patrná skutečnost, že v simulovaném záznamu není místo mezery vůbec nic. Naopak v reálném prostředí je, ve všech třech případech, viditelný šum na pozadí. V našem případě tento šum způsobuje ventilátor u notebooku, který jsme použili jak pro přehrání skladby tak pro její zaznamenání. Ve skladbě se ale mohou vyskytovat i další nechtěné šумы. Druhý rozdíl je v počtu výpadků. Tady není relevantní posuzovat rozdíly, kde je kolik výpadků, protože v simulaci signálu si jich můžeme vytvořit kolik chceme. Spíše je důležité si všimnout faktu, že pokud je skladba poškozená, často bývá v tomto místě více než jedna mezera.



Obr. 3.41 Záznam signálu s nasimulovanou mezerou.

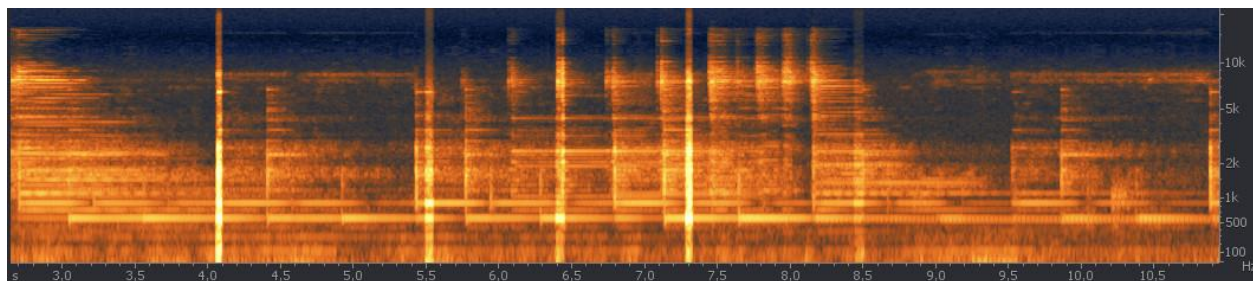


Obr. 3.42 Záznam hudebního signálu s výpadky, pořízeného v domácím prostředí.

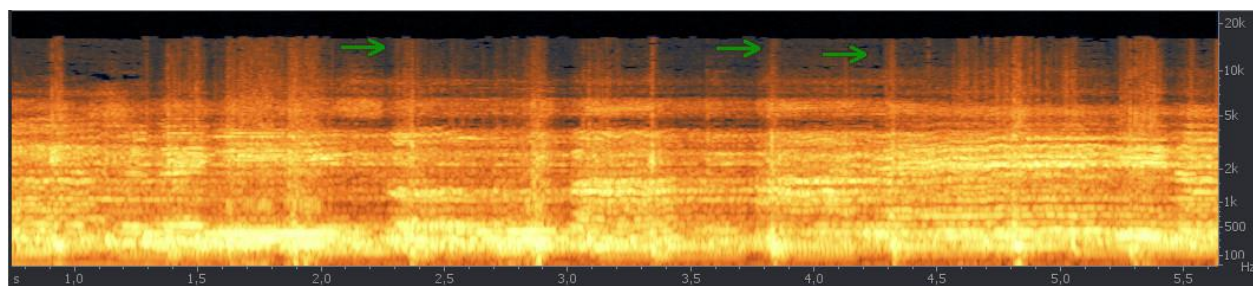
Pro lepší orientaci v druhém záznamu byla přidána funkce znázornění průběhu signálu. Díky tomu tu sou jasně patrné tři výpadky. První v 37.8 sekundě, druhý a nejkratší okolo 38.1 sekundy a poslední nejdelší od 38.5 po 39 sekundu záznamu.

3.5. Impulsní rušení

Na obrázku 3.43 je vidět záznam skladby, do které bylo softwarově přidáno impulsní rušení. Je tu vidět pět různě silných krátkých impulsů. V porovnání s reálnou nahrávkou z obrázku 3.44 si můžeme všimnout přesné hranice začátku a konce rušení, což je částečně způsobeno i nízkou kvalitou skladby nahrané z gramofonu. Především za to však může softwarové zesílení přesně požadované šířky, na rozdíl od impulsů v reálných nahrávkách, které nemají tyto přesné hranice. Dalším rozdílem je síla jednotlivých impulsů vzhledem k frekvenci. U reálné nahrávky jsou tyto impulsy s frekvencí neměnné. U simulovaného záznamu byl, pro jednoduchost, signál zesílen o určitý počet decibelů v celém frekvenčním pásmu. Tam kde byl signál bez rušení nejsilnější, je tedy i nejsilnější rušení vzhledem k jednomu impulsu.



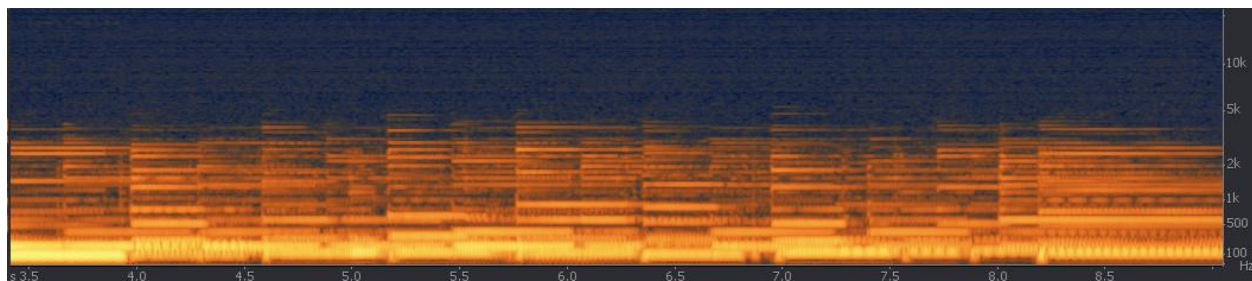
Obr. 3.43 Nasimulované impulsní rušení.



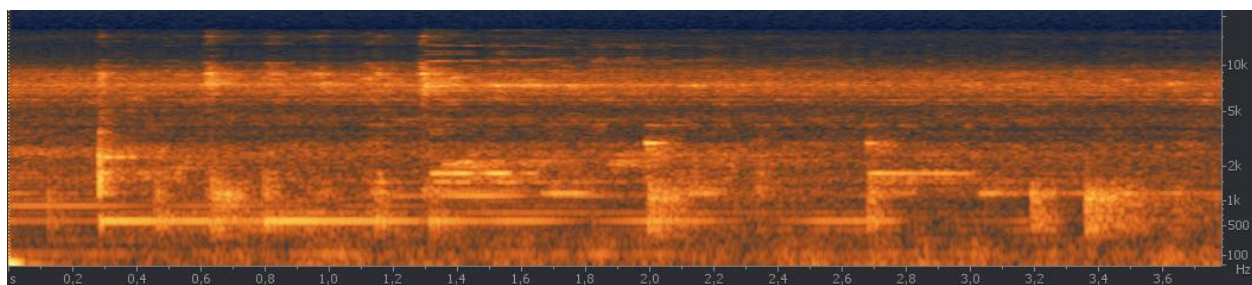
Obr. 3.44 Impulsní rušení nahrané z gramofonu.

3.6. Bílý šum

Mezi simulací a reálným záznamem bílého šumu na pozadí skladby příliš velký rozdíl není. Jediný rozdíl spočívá v tom, že v simulaci byly zesíleny všechny části signálu, které byly pod úrovní bílého šumu. A proto nejnižší hodnota signálu je hodnota bílého šumu. Naopak části, které byly nad hodnotu bílého šumu se nezměnily. U reálné nahrávky je situace podobná. Části bez signálu mají také hodnotu reálného šumu a části se signálem jsou buďto zarušeny úplně, nebo pokud jsou hlasitější než šum, jsou slyšitelné.



Obr. 3.45 Simulace bílého šumu na pozadí.



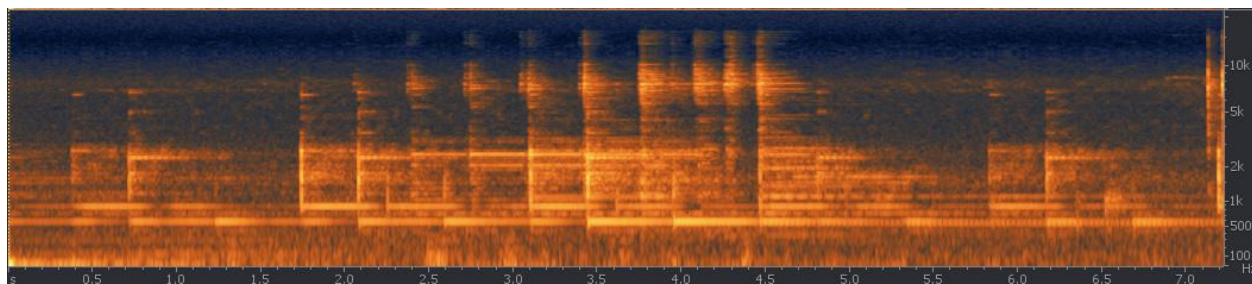
Obr. 3.46 Reálný záznam skladby s bílým šumem na pozadí.

3.7. Akustické zkreslení

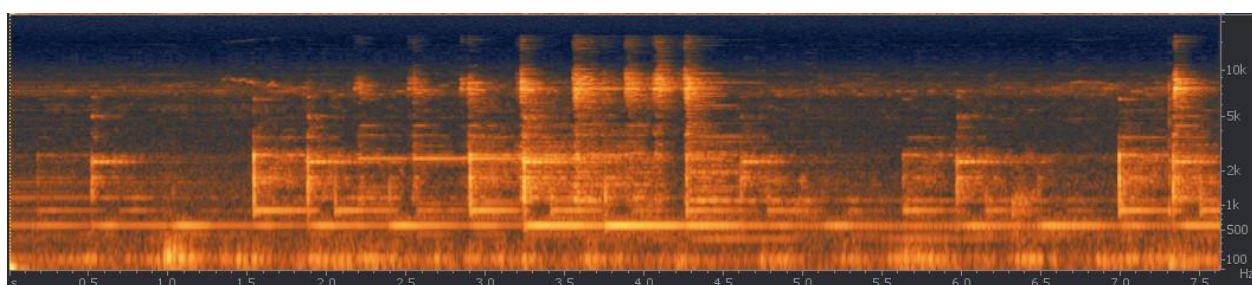
Nahrávky v této podkapitole byly pořizovány ve třech různých prostředích/místnostech. První místnost byl velký vybavený obývací pokoj, který dokázal dobře pohlcovat odražené signály. Druhou místností byla spoře vybavená a malá kuchyň, kde jedna stěna byla zcela prázdná. Třetí a nejmenší místnost byla malá vystěhovaná komora, kde se nenacházelo prakticky vůbec nic, a proto záznam obsahuje více odrazů než v předchozích dvou případech. Záznamy ukazují stejnou skladbu přibližně ve stejném čase, avšak díky nepřesné synchronizaci jsou začátky nahrávek až o půl sekundy navzájem posunuty.

Při porovnání obrázků 3.47 až 3.49 odhalíme drobné rozdíly, způsobené různým nahrávacím prostředím. Dobře patrný je například rozdíl na frekvenci okolo 1k Hz, kde mezi 2,5 sekundou a 3 sekundou, kde u záznamu ve velké místnosti prakticky chybí jedna část signálu. Takovýto

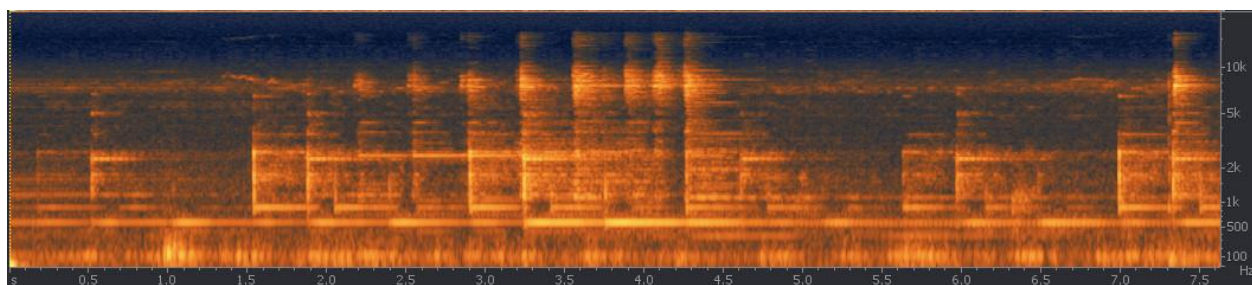
rozdílu po bližším prozkoumání najdeme mnohem více. Díky nábytku lze nalézt i opačné případy, kdy odražená vlna zesílí signál v prvním případě.



Obr. 3.47 Spektrogram záznamu z velké. Mikrofon byl natočený od zdroje zvuku.



Obr. 3.48 Spektrogram záznamu z menší místnosti. Mikrofon byl natočen od zdroje zvuku.



Obr. 3.49 Spektrogram záznamu z male místnosti. Mikrofon byl natočen od zdroje zvuku.

4. Aplikace pro simulování základních typů šumů a rušení

V níže popsaných kódech je ukázáno, jak pracuje aplikace vytvořená pro simulaci základních typů šumů a rušení. Tato aplikace je napsána v jazyce html. Všechny šumy jsou vytvořeny s využitím Google charts, což je API pro tvorbu grafů. Důvod použití Google charts je snadné umístění této aplikace na web, protože je celá koncipována jako webová stránka. Dále jednoduchost a přehlednost kódu i samotných grafů. Podrobně tu bude popsán případ pro rušení clipping. U ostatních šumů a rušení budou ukázány jen základní odlišnosti od tohoto šumu

4.1. Clipping

Nejprve si ukážeme části kódu, které neslouží k upravování grafů, avšak jsou na celé aplikaci to nejdůležitější, protože zajišťují její funkčnost. Pro načtení balíčku z google API slouží:

```
google.load("visualization" "1.1", {package:["corechart"]});
```

Výběr vykreslovací oblasti v html je proveden:

```
var chart = new google.visualization.LineChart  
(document.getElementById('chart_div'));  
  
chart.draw(data, options);
```

Předání vstupních dat pro vykreslovací komponentu má na starosti:

```
var data = google.visualization.arrayToDataTable(novePoleHodnot);
```

Další důležitou částí kódu je nastavení vzhledu grafů. Toto nastavení se v aplikaci vyskytuje dvakrát. Je to z důvodů potřeby nastavit jak původní graf, tak jednotlivé grafy, jež jsou zobrazovány dle posunutí sladeru. Obě nastavení jsou ve většině případů identická, a proto si popíšeme jen jedno z nich. První částí je zajisti zobrazení více než jedné funkce v jednom grafu. K tomu slouží:

```
var option = { selectionMode: 'multiple' };
```

Druhou důležitou vlastností je nastavení barev jednotlivých funkcí:

```
var option = { series:{0:{color:'#000bef'},  
1:{color:'#111bef'} } };
```

Tímto zápisem nastavíme barvu pro první funkci s indexem 0 a pro druhou funkci s indexem 1.

Poslední nastavovanou hodnotou je popis osy X a Y a název grafu:

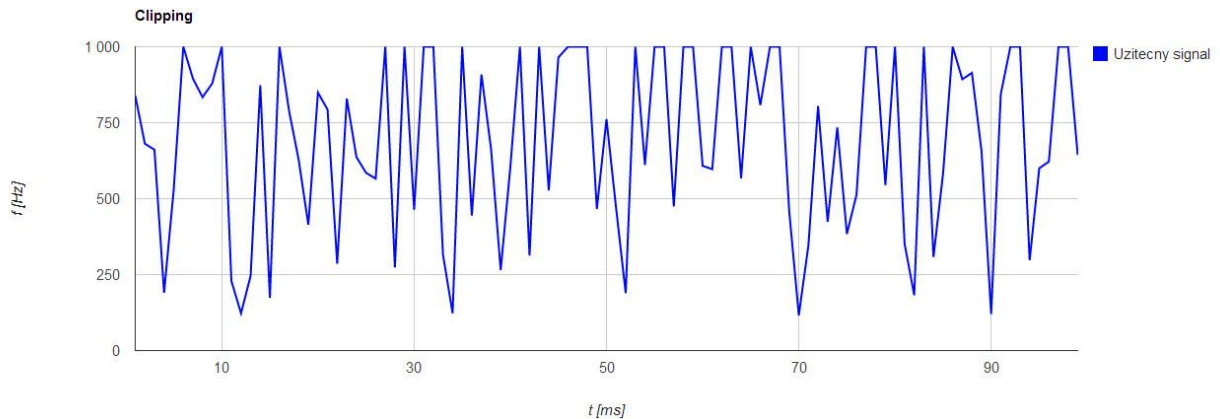
```
var option = {title:'Clipping',           //název grafu
              hAxis:{title:'t [ms]'},     //popis osy X
              vAxis:{title:'f [HZ]'} };   //popis osy Y
```

Poslední částí je nastavení samotných funkcí. Tato část se pro každé rušení a šum liší a zároveň tvoří největší objem kódu. U clippingu pro slider nastaven na hodnotu jedna vypadá kód takto:

Výpis kódu 4.1: clipping.html - definování jednoho případu, kdy dojde k saturaci užitečného signálu.

```
if (newValue == 1) { //situace, kdy slider nabývá hodnoty 1
for(var k=1;k<100;k++) { //vytvoření proměnné k pro posuvy na ose X od
                        1 do 100
var i = k*50; // nastavení míry "věrnosti" grafu (rozlišení)
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100); //definování náhodné
proměnné v rozmezí přibližně 100 až 1100
var x = z^2; //vytvoření nové proměnné, pro snadnější manipulaci
if (x >=1000) { //situace, kdy se objevuje rušení clipping
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Uzitecny signal'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, 1000];
} else { //sitace kdy se rušení clipping neobjevuje
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Uzitecny signal'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, x]; // první hodnota tvoří souřadnici osy X
a druhá osy Y, všechny případné další hodnoty již budou určovat jen
souřadnice pro osu Y a budou kombinovány s první hodnotou - pro osu X.
} }
}
```

Na obrázku 4.50 je vidět průběh signálu, ovlivněný clippingem. Tento průběh nasimulovala vytvořená aplikace. Je tu patrné ořezání signálu po dosáhnutí maxima, které zde tvoří 1000 Hz. Toto ořezání je na mnoha místech signálu, a vychází z výše popsaného kódu.



Obr. 4.50 Rušení clipping, který nasimulovala aplikace.

4.2. Ostatní

Jak již bylo řečeno dříve, v dalších částech této kapitoly budou ukázány jen zásadní rozdíly mezi jednotlivými rušeními.

Mezery a výpadky

Když budeme sladerem posouvat směrem do prava, tak počet výpadků bude narůstat. Nastavení jednoho náhodného výpadku za dobu trvání celé funkce:

Výpis kódu 4.2:Mezery_vypadky.html - definování jednoho výpadku v užitečném signálu.

```

if (newValue == 1) { //situace, kdy slider nabývá hodnoty 1
var random1 = Math.floor(Math.random()*(100)); //vytvoření náhodné
//proměnné, která bude určovat, kdy dojde k výpadku
for(var k=1;k<100;k++) { //Vytvoření proměnné k pro posuvy na ose
// X od 1 do 100
var i = k*50; // Nastavení míry "věrnosti" grafu (rozlišení)
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100); //Definování náhodné
proměnné v rozmezí přibližně 100 až 1100
var x = z^2; //vytvoření nové proměnné, pro snadnější manipulaci
if (k ==random1) { //situace, kdy dojde k výpadku
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Užitečný signal'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, 0];
} else { //situace kdy k výpadku nedochází
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Užitečný signal'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, x]; // první hodnota tvoří souřadnici osy X
a druhá osy Y.
} }
} }

```

Hum

Síla a počet jednotlivých složek rušení hum se zvětšuje, pokud budeme sladerem posouvat do prava. V maximální hodnotě sladeru je zobrazeno osm složek, každá pro různý celočíselný násobek 50 Hz, od 50 do 400Hz. Jejich intenzita slábne se zvyšujícím se kmitočtem. Vytvoření velmi slabého harmonického rušení, které se vyskytuje jen na základním kmitočtu 50 Hz:

Výpis kódu 4.3: harmonicke.html – definování užitečného signál s jednou harmonickou.

```
if (newValue == 1) { //situace, kdy slider nabývá hodnoty 1
var barva1 = '#ffd7c9'; //nastavení barvy pro první funkci
for(var k=1;k<100;k++) { //Vytvoření proměnné k pro posuvy na ose X
                        od 1 do 100
var i = k*50; // Nastavení miry "věrnosti" grafu (rozlišení)
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100); //Definování náhodné
proměnné v rozmezí přibližně 100 až 1100
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Uzitecny signal', '50 Hz'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, z^2, Math.sin(i/50) + 50]; // první hodnota
tvoří souřadnici osy X a druhá a třetí hodnota osy Y.
} }
}
```

Impulsní rušení

Počet zobrazených nežádoucích impulsů roste, s posunutím sladeru směrem do prava. Nastavení pro jeden náhodný impuls za dobu trvání celé funkce:

Výpis kódu 4.4: impulsni.html – definování užitečného signal s jedním nežádoucím impulse.

```
if (newValue == 1) { //situace, kdy slider nabývá hodnoty 1
var random1 = Math.floor(Math.random()*(1000)); //vytvoření náhodné
proměnné, která bude určovat, kdy dojde k výpadku
for(var k=1;k<1000;k++) { //Vytvoření proměnné k pro posuvy na ose X
                        od 1 do 1000
var i = k*50; // Nastavení miry "věrnosti" grafu (rozlišení)
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100); //Definování náhodné
proměnné v rozmezí přibližně 100 až 1100
var x = z^2; //vytvoření nové proměnné, pro snadnější manipulaci
if (k ==random1) { //situace, kdy se objevuje impuls
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Uzitecny signal', 'impuls'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, x, 1500];
} else { //situace kdy se impuls neobjevuje
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Uzitecny signal', ' impuls '];
novePoleHodnot[k] = [i/50, x, 0]; // první hodnota tvoří souřadnici
osy X a druhá osy Y.
} }
}
```

Bílý šum

Velikost rušení bílého šumu je zobrazována pomocí pozadí grafu, který postupně mění barvu od nesvětlejší až po nejtmaší. Pro hodnoty sladeru nižší než šest jsou v grafu dva signály. Když slader dosáhne této hodnoty tak je slabší ze signálů zarušen zcela a zůstává pouze silnější z nich. V tomto konkrétním případě je bílý šum velice slabý:

Výpis kódu 4.5: bily.html – Definování situace, kdy máme dva užitečné signály drabně zarušené bílým šumem.

```
if (newValue == 1) { //situace, kdy slider nabývá hodnoty 1
var a = '#ffd7c9'; //nastavení barvy pro pozadí
var b = '#ff8b66'; //nastavení barvy pro první funkci

for(var k=1;k<100;k++) { //vytvoření proměné k pro posuvy na ose X
                        od 1 do 100
var i = k*50; //nastavení míry "věrnosti" grafu (rozlišení)
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100); //Definování náhodné
proměné v rozmezí přibližně 100 až 1100
var z = Math.floor((Math.random()*1000)+100);
novePoleHodnot[0] = ['x', 'Slabší uzitecny signal', 'Silnější užitečný
signál'];
novePoleHodnot[k] = [i/50, z^2, y^2]; //první hodnota tvoří souřadnici
osy X a druhá a třetí hodnota osy Y.
} }
```

5. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá druhy šumů a zkresleními, nejčastěji se objevujícími u hudebních záznamů. Práci lze rozdělit na tři kapitoly. V první kapitole jsou popsány jednotlivé šумы, ve druhé pak porovnání některých simulovaných a reálných šumů popsanych v první kapitole. Třetí kapitole se zabývá webovým programem pro grafické simulování těchto šumů na počítači.

První kapitola se skládá ze čtyř částí. Každá část se zabývá jedním druhem šumů a zkreslení. První část pojednává o harmonických rušeních, druhá o nelineárních zkresleních, třetí o šumu na pozadí a čtvrtá o dočasném rušení. Tyto části si kladly za cíl splnit první a třetí bod zadání bakalářské práce. Většina šumů je zde popsána slovně, matematicky i graficky. Dále je zde ukázáno, jak některé z těchto šumů odstranit, pro lepší pochopení jejich vlastností.

V části harmonických rušení jsou obsaženy pouze dvě rušení, hum a buzz. Přičemž podrobně popsán je pouze hum. Rozdíl mezi nimi totiž spočívá hlavně ve kmitočtech, na kterých se objevují. Proto by byl popis obou zbytečný

Část nelineárních zkreslení obsahuje velký počet zkreslení a poruch hudebních signálů. Do této skupiny však patří všechny další zkreslení a poruchy, které neodpovídají definicím popsanych v první, třetí a čtvrté části první kapitoly semestrální práce. Podrobně popsáno je tu impulzní rušení, intermitentní rušení, mezery a výpadky, clipping aj. Popis těchto čtyř rušení je doplněn obrázkem spektrogramu, na kterém se vyskytují. Dále se u nich nachází obrázek spektrogramu užitečného signálu, po odstranění těchto šumů a zkreslení. Zbylé zkreslení jsou většinou pouze matematicky definována a ukázána na příslušném obrázku.

Třetí část je věnována šumu na pozadí. Tato kapitola je rozdělena na další čtyři části. V první a druhé části se šумы dělí podle stacionarity a ve třetí a čtvrté podle výkonové spektrální hustoty. Do této části patří všechny barevné šумы, avšak popsány jsou tu jen dva základní. Popisovat všechny barevné šумы by bylo zbytečné, protože jejich vlastnosti jsou podobné. Dále se tu nachází stručný popis rušení hiss, které patří do nestacionárních signálů a jeho matematický popis by byl nad rámec této bakalářské práce.

V poslední části se vyskytují rušení dočasná. Sem patří skupinové zpoždění, fázový posun, resonance aj.

Druhá kapitola se zabývá porovnáváním dvou a více nahrávek některých šumů, popsanych v kapitole první. Je tu srovnán například hum, clipping či intermitentní rušení aj. Tato kapitola se snaží osvětlit chování šumů v reálném prostředí v porovnání s jejich simulacemi. Simulaci bývají často nepřesné a skoro vždy mají drobné odlišnosti, jež jsou popsány výše.

Třetí, poslední kapitola popisuje aplikaci simulující vybrané základní typy šumů a rušení. V této aplikaci je harmonické rušení hum, clipping, mezery a výpadky, bílý šum a impulsní šum.

Přínos této bakalářské práce spočívá ve snaze napomoci při restaurování hudebních záznamů. To spočívá právě v popisu základních typů šumů, se kterými se zde lze setkat. Jejich následné odstranění je poté snadnější a kvalitnější, protože je lze lehce identifikovat a odstranit všechny jejich části.

6. Seznam použité literatury

- [1] RÁŠO, O. Objektivní měření a potlačování šumu v hudebním signálu [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 2012.
- [2] SMÉKAL, Zdeněk. Analýza signálů a soustav: BASS. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav telekomunikací, 2012. 251 s. ISBN 978-80-214-4453-9.
- [3] SYROVÝ, V. *Hudební akustika*. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2003. 427 s. ISBN 80-7331-901-2.
- [4] SYROVÝ, V. *Hudební zvuk*. Praha : Akademie múzických umění v Praze, 2009. 303 s. ISBN 80-7331-161-2.
- [5] FASTL, H., ZWICKER E., *Psychoacoustic: Facts and Models*. 3rd ed. Berlin-Heidelberg-New York: Springer, 2006. 462 s. ISBN 978-3-540-23159-2.
- [6] MELKA A., *Základy experimentální psychoakustiky*. 1 vydání. Akademie múzických umění v Praze, 2005. 327 s. ISBN 80-7331-043-0
- [7] *RX2TM Tips & Tricks*, Restoration Guide, 20 s., www: <http://www.izotope.com/rx/tips>
- [8] ELEKTROAKUSTICKÁ ZAŘÍZENÍ. *Rožnovská střední* [online]. [cit. 2013-12-22]. Dostupné z: <http://www.roznovskastredni.cz/~fuchs/download/Akustika.pdf>
- [9] Stationarity/Nonstationarity Identification. *Ergonomics in teleoperation and control laboratory* [online]. [cit. 2014-01-01]. Dostupné z: <http://etclab.mie.utoronto.ca/people/moman/Stationarity/stationarity.html>
- [10] *OtherNoises*. Dostupné z: www.mds.xf.cz/a/data/Public/Noise/OtherNoises.doc
- [11] Marlene's Musings: Review: Sony D-E705 (1998). *Marlene's Musings* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: http://marlene-d.blogspot.cz/2013_09_01_archive.html
- [12] MP3 Doctor: Audio normalization Mp3 dynamic range compression. *Marlene's Musings* [online]. 2010 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://mp3doctor.com/mp3/audio-normalize/audio-normalization-mp3-dynamic-range-compression/>
- [13] Parallel home audio: Type of Audio Distortion. *Marlene's Musings* [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.parallelhomeaudio.net/TypesAudioDistortion.html>
- [14] EARGLE, John. *Electroacoustical reference data*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. ISBN 0442013973 9780442013974. Dostupné z: http://books.google.cz/books?id=b_wxNccLhXoC&pg=PA300&lpg=PA300&dq=blauert+laws+1978&source=bl&ots=KgaobKBJ5K&sig=Wjgfhpyebi_njFp-

[5112rA8TgU&hl=cs&sa=X&ei=VPhUU9_WJ6_b7AanuogAg&ved=0CC8Q6AEwAQ#v=onepage&q=blauert%20laws%201978&f=false](http://www.iowahills.com/B1GroupDelay.html)

- [15] Iowa Hills Software Digital and Analog Filters: What is Group Delay. [online]. [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://iowahills.com/B1GroupDelay.html>
- [16] DSPRelated.com. *DSPRelated.com* [online]. 2008 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.dsprelated.com/showarticle/54.php>
- [17] 8 Bit Synth: MATLAB Bandlimited Wavetable Simulation and Aliasing. *Hackme* [online]. 2011 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <https://hackmeopen.com/2011/05/8-bit-synth-matlab-bandlimited-wavetable-simulation-and-aliasing/>
- [18] Digital Signal Processing Overview. *Indiana* [online]. 2007 [cit. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.cs.indiana.edu/~port/teach/541/sig.proc.html>
- [19] The Jitter Game. *Stereophile* [online]. 2004 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.stereophile.com/content/jitter-game>
- [20] Op Amp Slew Rate: Tutorial; Formula; Calculator. *RadioElectronics.com* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.radio-electronics.com/info/circuits/opamp_basics/operational-amplifier-slew-rate.php
- [21] Crossover Distortion. *Qooljaq* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://qooljaq.com/CrossoverDistortion.htm>

Seznam přílohy

A	Nahrávky popisovaných šumů a zkreslení	57
B	Aplikace pro simulaci popisovaných šumů a zkreslení	58

A Nahrávky popisovaných šumů a zkreslení

Stopa 1. Bílý šum

Stopa 2. Clipping

Stopa 3. Hum

Stopa 4. Impulsní šum

Stopa 5. Intermitentní šum

Stopa 6. Růžový šum

Stopa 7. Výpadky

B Aplikace pro simulaci popisovaných šumů a zkreslení

Rušení clipping: [clipping.html](#)

Mezery a výpadky: [Mezery_vypadky.html](#)

Harmonické rušení: [harmonicke.html](#)

Bílý šum: [bily.html](#)

Impulsní rušení: [impulsni.html](#)