Virtuální simulace analogových zvukových procesorů

BcA. Vincent Stránský

Diplomová práce
2024

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Ateliér Audiovize

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**BcA. Vincent Stránský**
Osobní číslo:	**K22378**
Studijní program:	**N0211P310005 Teorie a praxe audiovizuální tvorby**
Specializace:	**Zvuková skladba**
Forma studia:	**Prezenční**
Téma práce:	**1. Teoretická část: Virtuální simulace analogových zvukových procesorů** **2. Praktická část: Zvuková skladba audiovizuálního díla (vyrobeného v systému řízené výroby FMK) v minimální délce 20 minut, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.**

Zásady pro vypracování

1. Teoretická část:
Rozsah práce: minimálně 30 normostran textu bez započítání obsahu, rejstříku a obrazových příloh.
Formální podoba: Jednotná formální úprava teoretické části práce, její uložení a zpřístupnění se řídí aktuální verzí příslušné směrnice rektora. Student odevzdává 1 ks fyzické (tištěné) práce v pevné vazbě. Tištěná verze práce obsahuje originální "Zadání DP/BP" včetně příslušných podpisů a studentem podepsané Prohlášení o původnosti práce. Práce v elektronické podobě obsahuje nascanované "Zadání DP/BP" se všemi formálními náležitostmi a také nepodepsané Prohlášení studenta o původnosti práce. Plný text elektronické verze ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) student odevzdá nahráním do IS/STAG a do příslušné složky na NAS-AAV (viz níže).
Pokyny k vypracování: prostudujte a analyzujte dostupné materiály z profesního hlediska a formulujte závěry a získané vědomosti do podoby akademického/odborného textu.

2. Praktická část:
Přípustné varianty praktické části:
1) Zvuková skladba audiovizuálního díla (vyrobeného v systému řízené výroby FMK) v minimální délce 20 minut, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.
2) Zvuková skladba souboru audiovizuálních děl oficiálně schváleného před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba, ve výstupní kvalitě uvedené ve Výrobní knize AAV.
3) Rozhlasový feature – umělecký rozhlasový dokument (osoba, událost) v délce 20 minut. Varianta musí být schválena před odevzdáním Výrobní komisí ateliéru Audiovizuální tvorba.
Další požadované materiály praktické části:
a) Upoutávka, teaser či trailer na předložené audiovizuální dílo (var. 1 a 2).
b) Písemná explikace z pohledu dané specializace. Minimální rozsah 2 normostrany (var. 1, 2, 3).
c) Anotace (var. 1, 2, 3).
d) Technický scénář (var. 1).
e) Štábová listina (var. 1, 2).
V případě, že je dílo autorským počinem nebo není součástí praktické části SZZ studenta Produkce, je nutné dodržet doložení požadovaných materiálu a-h dle zadání specializace Produkce. Tato data odevzdává za projekt vždy jeden člověk. Nezbytná je konzultace s vedením AAV.
Všechny odevzdávané materiály musí splňovat vnitřní technické normy dle Výrobní knihy AAV pro odevzdávání prací a musí být řádně popsány (jméno, název, logo fakulty, formát, rozlišení). Součástí závěrečné práce je vytištěný a podepsaný formulář "Údaje o diplomové práci studenta".

Uložení na NAS:
Ve složce na NAS-AAV, označené "Bakalářská / Magisterská práce" uložte:
1. Teoretickou práci ve formátu PDF/A a případné přílohy (zkomprimované do jednoho zip souboru) dle specifikací výše.
2. Vytvořte podsložku Praktická práce, která bude obsahovat materiály částí a- h. Řádně nazvaný film/absolventské dílo odevzdávejte ve formátech splňujících vnitřní technické normy AAV pro odevzdávání prací.
3. Vytvořte podsložku s názvem Katalog, která bude obsahovat "Podklady pro katalog FMK UTB ve Zlíně": 10 kusů obrazové dokumentace praktické části závěrečné práce pro využití v publikacích FMK. Formát pro bitmapové podklady: JPEG, barevný prostor RGB, rozlišení 300 dpi, 250 mm delší strana. Formáty pro vektory: AI, EPS, PDF. Loga a texty v křivkách. V samostatném textovém souboru uveďte jméno a příjmení, login do portálu UTB, obor (ateliér), typ práce, přesný název práce v češtině i v angličtině, rok obhajoby, osobní e-mail, osobní web, telefon. Přiložte svou osobní fotografii v tiskovém rozlišení.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

SAVAGE, Steve. *Mixing and Mastering in the Box: The Guide to Making Great Mixes and Final Masters on Your Computer*. Oxford University Press, 2014. ISBN 9780199929306.
HUBER, David Miles a RUNSTEIN, Robert E. *Modern recording techniques*. Ninth edition. New York: Routledge, 2018. ISBN 9781138954373.
KATZ, Bob. *Mastering Audio: The Art and the Science*. 3rd edition. Routledge, 2014. ISBN 9780240818962.
OWSINSKI, Bobby. *The Mixing Engineer's Handbook*. Fourth edition. Bobby Owsinski Media Group, 2017. ISBN 9780988839182.

Vedoucí teoretické části: **prof. Ing. Ján Grečnár, ArtD.**
Ateliér Audiovize

Vedoucí praktické části: **prof. Ing. Ján Grečnár, ArtD.**
Ateliér Audiovize

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2024**

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta multimediálních komunikací
DĚKAN
L.S.

Mgr. Josef Kocourek, Ph.D.
děkan

MgA. Irena Kocí, Ph.D.
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 1. prosince 2023

Příloha č. 1 ke směrnici SD2022.09

PROHLÁŠENÍ AUTORA
BAKALÁŘSKÉ / DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- bakalářská/diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou/diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou/diplomovou práci - nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské/diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské/diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské/diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že:

- jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně dne: 15.4.2024

Jméno a příjmení studenta: VINCENT STRÁNSKÝ .....

podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá softwarovými doplňky určenými pro hudební produkci a mix hudebních nahrávek, které emulují reálné analogové zařízení ve virtuální doméně. Skrze zkoumání chování analogového a digitálního signálu práce sleduje nelineární odezvu typickou pro analogové systémy v softwarovém prostředí, ale zaměřuje se i na další specifika tohoto typu pluginů. Výzkumná část práce potvrzuje kvality vybraného softwaru a jeho preferenci u spotřebitelů.

Klíčová slova: plugin, emulace, mix, hudební produkce, DAW

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe and explore software plugins for music production and record mixing which emulate real analog hardware in the virtual domain. Nonlinear behaviour that is typical for analog systems can be observed in software realm. Other qualities of this type of plugins are shown as well as confirmed by measuring and analysis. Whether consumers prefer the sonic character of analog modeled plugins is the subject of survey.

Keywords: plugin, emulation, mix, music production, DAW

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Jánu Grečnárovi, ArtD. za věcné připomínky a konzultace témat. Dále děkuji Štěpánovi Urbanovi, Thomovi Artwayovi, Them Switcheroos a mému tátovi Bobovi Stránskému za svolení k použití nahrávek pro analytickou část práce a následné dotazníkové šetření. V neposlední řadě děkuji taky Michalovi „Amákovi" Šťastnému za zkušenost s prací s analogovým vybavením v rámci hybridní workflow jeho studia Golden Hive.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD **11**
I TEORETICKÁ ČÁST **14**
1 MIX HUDEBNÍ NAHRÁVKY **15**
1.1 MIXÁŽNÍ KONZOLE 15
1.2 ZVUKOVÉ PROCESORY 17
1.2.1 Ekvalizér 18
1.2.2 Kompresor 20
1.2.3 Channel Strip 25
1.2.4 Další efekty 25
2 ANALOGOVÁ WORKFLOW **26**
2.1 MECHANICKÝ ZÁZNAM ZVUKU 26
2.2 MAGNETICKÝ ZÁZNAM ZVUKU 26
3 DIGITÁLNÍ WORKFLOW **29**
3.1 DAW 30
3.2 SOFTWAROVÉ DOPLŇKY (PLUG-IN) 31
4 HYBRIDNÍ WORKFLOW **33**
5 ANALOGOVÝ VERSUS DIGITÁLNÍ SIGNÁL **34**
5.1 ANALOGOVÝ SIGNÁL 34
5.2 DIGITÁLNÍ SIGNÁL 34
6 ZKRESLENÍ **36**
6.1 ZKRESLENÍ A DYNAMICKÁ KOMPRESE 37
6.2 ZKRESLENÍ SPOJITÉHO A ČÍSLICOVÉHO SIGNÁLU 37
6.3 CLIPPING – PŘEBUZENÍ ANALOG VS DIGITAL 38
6.4 THD 39
6.5 NECHTĚNÉ ŠUMY A RUCHY 39
6.6 LINEARITA/NELINEARITA 39
7 VÝVOJ EMULACÍ ANALOGOVÝCH JEDNOTEK **41**
9 VÝCHODISKA **45**
II PRAKTICKÁ ČÁST **47**
10 POUŽITÝ SOFTWARE **48**
10.1 FABFILTER PRO-Q 3 48
10.2 BRAINWORX SSL 4000E 49
10.3 AVID EQ III 52
10.4 FABFILTER PRO-C 2 52

10.5 BRAINWORX BUSS COMPRESSOR 54
10.6 AVID DYNAMICS III COMPRESSOR/LIMITER 55
10.7 BRAINWORX BX_CONSOLE N 56
10.8 MÄAG AUDIO EQ4 57
10.9 SHADOW HILLS MASTERING COMPRESSOR 58
10.10 ACUSTICA AUDIO COFFEE THE PUN 59
11 ZVUKOVÉ VZORKY 60
11.1 BICÍ SOUPRAVA 60
11.1.1 Velký buben – mikrofon Audix D6 uvnitř 60
11.1.2 Velký buben – mikrofon Rode NT1 před resonanční blánou 60
11.1.3 Malý buben – vrchní mikrofon Shure SM57 61
11.1.4 Malý buben – spodní mikrofon Audix ADX51 61
11.1.5 Činely („overheads“) – stereo pár AKG C451 B 61
11.1.6 Sběrnice všech stop bicí soupravy 61
11.2 ELEKTRICKÉ KYTARY 62
11.2.1 Basová kytara 62
11.2.2 Kytara 1 – aparát 1 62
11.2.3 Kytara 1 – aparát 2 62
11.2.4 Kytara 2 + kytara 3 63
11.2.5 Kytara 4 + kytara 5 63
11.3 AKUSTICKÁ KYTARA 63
11.4 VIRTUÁLNÍ KLÁVESOVÉ NÁSTROJE A SYNTEZÁTORY 63
11.4.1 Rhodes 63
11.4.2 Syntezátor 64
11.5 MASTER 64
11.5.1 Shadow Hills Mastering Compressor 64
11.5.2 Acustica Audio Coffee The Pun 65
11.5.3 FabFilter Pro-C 2 65
11.5.4 FabFilter Pro-Q 3 66
12 ANALÝZA 67
12.1 METODA NULL 67
12.1.1 Srovnání rozdílů při otočení polarity 67
12.2 BERTOM AUDIO EQ CURVE ANALYZER 68
13 DOTAZNÍK 75
13.1 ZADÁNÍ DOTAZNÍKU 75
13.2 VÝSLEDKY DOTAZNÍKU 76
14 ZÁVĚR 79
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 86

SEZNAM OBRÁZKŮ 87

ÚVOD

Jedním z fenoménů posledních několika let jsou v odvětví hudební produkce a zvukové postprodukce virtuální zvukové procesory simulující analogové obvody. Tyto softwarové nástroje se snaží simulovat chování fyzických jednotek používaných desítky let v nahrávacích studiích. Jedná se o ekvalizéry, kompresory, dozvukové efekty (reverb či delay), magnetofony, nebo třeba předzesilovače. Atraktivita takovýchto softwarových doplňků (pluginů) je pochopitelná. Jedním z důvodů je jistě to, že nahrávky, které vznikaly analogovou cestou, mají charakteristický zvuk, kterému se mnoho producentů a zvukových mistrů snaží přiblížit v digitálním, virtuálním prostředí. Je známo, že analogové procesory svými konstrukčními nedokonalostmi dokážou signál pozměnit způsobem, který je pro množství lidí subjektivně esteticky hodnotný. V analogové signálové cestě, která je fyzikálně nedokonalá, vznikají jevy, které zvukový signál dokážou harmonicky obohatit. Příkladem rozdílnosti mezi chováním signálu v digitálním a analogovém prostředí je situace, kdy signál přebudíme. V případě přebuzení signálu v analogovém systému se objevuje tzv. „soft clipping“, který je odlišný od „hard clippingu“ diskrétního signálu. V případě diskrétního signálu je amplitudová špička zarovnána k nule a objeví se nepříjemné, hrubé zkreslení. Tento princip není nepodobný chování filmové suroviny. Ta dokáže lépe zvládnout přeexponování než digitální snímač. Elektronické součástky v analogových zařízeních produkují různé formy zkreslení, které se projevuje například saturováním signálu o harmonické frekvence, toto zkreslení má však oproti tomu digitálnímu měkčí a příjemnější charakter. Právě toto harmonické obohacování signálu je ve spojení s virtuálními simulacemi analogových procesorů velmi často zmiňováno. Zvukoví mistři a hudební producenti dále hovoří o jakési prostorovosti, kterou dokáže nahrávkám dodat zpracování zvukové modulace pomocí fyzických analogových jednotek. Často je zmiňováno také to, že analogové procesory zvukovému signálu dodávají „teplejší“ zvukový charakter, což by mohlo souviset s úbytkem vyšších frekvencí v důsledku harmonického zkreslení signálu.

Cílem této práce je prozkoumat, jestli se virtuálním simulacím analogových zvukových procesorů daří napodobovat své fyzické předlohy nejen vizuálně v rámci uživatelského rozhraní, ale také svým chováním při zpracování zvukového signálu.

Ve výzkumné části práce prezentuji přípravu experimentu, ve kterém jsem moduloval několik zvukových vzorků třemi způsoby – dvakrát rozdílnými virtuálními procesory bez emulace analogového obvodu a jednou virtuálními procesory simulujícími chování analogových jednotek. Tyto vzorky poté analyzuji a srovnávám. Následně jsem vzorky

poskytnul skupině respondentů z různých odvětví a sociálně-ekonomických oblastí k subjektivnímu hodnocení. Cílem výzkumu bylo zjistit, zda budou posluchači preferovat některou ze skupin vzorků.

Primárními objekty zájmu této práce jsou softwarové doplňky (plug-iny) určené ke zvukové postprodukci, především v oblasti hudební produkce a mixáže hudebních nahrávek. Jedná se například o předzesilovače, ekvalizéry, nebo kompresory. Ve virtuálním prostředí můžeme nalézt další typy softwaru, který je založený na emulování skutečných analogových zařízení. Mohou to být například virtuální hudební nástroje – syntezátory, kytarové aparáty, či pedálové efekty.

Pluginy emulující analogové systémy slibují dosažitelnost charakteristického analogového zvuku v digitálním prostředí. Spojují tak zvukovou kvalitu fyzických zařízení s rychlostí a pohodlností digitální workflow. Na rozdíl od práce v analogovém prostředí nabízí práce v digitálním prostředí mnoho výhod. Ať už se jedná o jednodušší uchovávání a přenos dat, rychlejší a širší možnosti editace, nižší hladinu šumu a prakticky nulové zkreslení signálu, nebo o možnost se k rozdělaným projektům jednoduše vracet klidně roky po jejich dokončení. Je naprosto pochopitelné, že drtivá většina zvukových inženýrů a nahrávacích studií se přesunula právě do digitální oblasti a analogové vybavení se používá spíše v rámci hybridního přístupu, kdy je pro záznam, editaci a playback používán počítač s DAW (Digital Audio Workstation) a analogové vybavení je s počítačem propojeno skrze AD/DA převodník.

Další výhodou virtuálních analogových procesorů je bezesporu jejich cena včetně nákladů na spotřebu elektrické energie nebo údržbu. Mnoho oblíbených efektových jednotek používá k zesílení signálu elektronky, které se zahřívají, tudíž mají relativně vysoké energetické ztráty a zároveň jsou náchylné k poruchám. Typický plug-in modul s emulací analogového obvodu stojí pár desítek až stovek dolarů a spotřebovává zlomek výkonu počítače, na kterém je spuštěn.

Otázkou tedy zůstává, zda jsou plug-iny emulující analogové zařízení schopné signál modulovat stejně, nebo přinejmenším podobně, jako jejich fyzické předlohy. K zodpovězení této otázky je potřeba zabývat se nejdříve rozdílnostmi mezi zpracováním zvuku v digitální a analogové doméně a následně zkoumat vlastnosti softwarových doplňků emulujících analogový obvod. Součástí porovnání jsou i softwarové doplňky, které chování analogového systému nesimulují a měly by vykazovat lineární chování.

Následující kapitoly prozkoumávají témata související s analogovými a digitálními systémy pro zvukovou postprodukci, a především rozdílnosti mezi nimi. Díky popsání rysů obou systémů lze na otázku, kterou tato práce zkoumá, odpovědět.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MIX HUDEBNÍ NAHRÁVKY

V procesu výroby hudební nahrávky je mix jednou z nejdůležitějších etap. Jedná se o proces, během něhož jsou veškeré instrumentální a vokální prvky hudební kompozice ustáleny v rovnováze, nebo naopak postaveny do kontrastu vůči sobě tak, aby výsledná zvuková modulace měla kompaktní projev a dokázala na potenciálního posluchače zapůsobit. Jedná se o disciplínu vyžadující kromě technické zdatnosti i estetické cítění a znalost žánrových konvencí a postupů.

Mix je v kontextu hudby užíván jako termín označující proces, během něhož jsou jednotlivé zvukové stopy zkombinovány k vytvoření výsledné stereo nebo vícekanálové modulace. Primárním cílem tohoto procesu je naleznutí rovnováhy, koheze a příjemného zvukového projevu, který je přenositelný napříč různými poslechovými zařízeními. Základními elementy umění zvukového mixu jsou: vyrovnání hlasitosti všech zvukových elementů, zasazení prvků do šířky stereo báze, tonální balanc (frekvenční vyrovnanost mixu a frekvenční úpravy jednotlivých prvků), kontrola dynamiky, prostorovost (vzdálenost a hloubka prvků aranže). (Avid Technology, Inc., 2023)

Konečným cílem zvukového mixu, který je kombinací umění a technologií, je vytvoření nové zvukové reality. Zvukový mistr zodpovědný za mix by k němu měl přistupovat s primárním zájmem o předání emocí a zprávy, kterou hudba nese, k čemuž využívá svých technických znalostí. (Mendelson, 2022)

1.1 Mixážní konzole

Nahrávací studia, živé hudební produkce, audiovizuální přenosy, filmová postprodukce, to všechno jsou prostředí a situace, které vyžadují použití zvukového mixážního pultu. Směšování zvukových signálů, ovládání signálových cest, úprava tonality a dynamických vlastností, nebo nastavení výstupní hlasitosti jsou základní funkce každého takového elektronického zařízení. (Sweetwater Sound, 2007)

Většina pultů disponuje stejnou signálovou cestou. Nejdříve je vstupní (zdrojový) signál, ať už mikrofonní či linkové úrovně, optimálně zpracován pro další manipulaci. Poté putuje skrz ekvalizér, popřípadě další jiné procesory, až doputuje k z pravidla tahovému potenciometru, kterým je určena výstupní hlasitost daného kanálu. Kromě pomocných výstupů se na pultech objevují také „insert points“, díky kterým je možné signál v rámci kanálu zpracovat na externích zvukových zařízeních, načež se signál vrací zpět do mixážní konzole. Nakonec je

signál navigován do dostupných výstupů a skupin, na kterých může být efektováno více kanálů zároveň. Předzesilovač na vstupní sekci konzole definuje její celkový charakter, jelikož jakákoli ztráta kvality na vstupu nemůže být později dohnána. Proto se ve velkých studiích často používají externí, vysoce kvalitní předzesilovače. Pro odečtení nechtěného dunění na nízkých kmitočtech se ve vstupní sekci často nachází hornopropustní filtr. Také zde nalezneme možnost otočit polaritu fáze signálu, což je užitečné v momentě, kdy je zvuk snímán dvěma a více mikrofony, u kterých se fáze vzájemně odečítá buď kvůli jejich prostorovému umístění, nebo kvůli samotné elektronické konstrukci mikrofonu. (Robjohns, 1997)

Typů mixážních pultů existuje nespočet. Čistě analogové velkoformátové pulty jsou dnes už spíše vzácností. Pro živé aplikace se velmi často používají digitální konzole, které šetří místo, nabízí možnosti ukládání nastavení, díky kterému je možné zahájit živou hudební produkci v podstatě bez zvukové zkoušky, a jsou tak mnohem flexibilnější.

Mezi pluginy emulujícími analogové zvukové zařízení jsou ale velmi oblíbené právě simulace analogových mixážních konzolí jako například SSL řady 4000, konzole EMI nebo REDD (Abbey Road), Helios, Neve, nebo třeba API. Nabízí je renomované značky Waves, Plugin Alliance, Universal Audio, Acustica Audio a další. Tito výrobci buď nabízí software přímo kopírující existující analogové konzole, nebo produkty, které grafickým rozhraním velmi připomínají fyzické analogové pulty bez toho, aniž by ke konkrétnímu přímo odkazovaly.

Obrázek 1: Rupert Neve a konzole 5088

1.2 Zvukové procesory

Kromě vyrovnání hlasitostí mezi jednotlivými prvky zvukového mixu je běžnou součástí práce zvukového mistra tyto prvky (posléze celý mix) upravovat pomocí zařízení k tomu určených. Může se jednat o dynamické úpravy, frekvenční úpravy, o práci s prostorovými efekty, nebo třeba slyšitelnou manipulaci s fází. Kromě technických aspektů vzniku nahrávky a řešení problémů v elektroakustickém řetězci slouží tato zařízení k dosažení estetické vize zvukového mistra v dialogu s interpretem nebo producentem hudební nahrávky.

Typů a modelů zvukových procesorů je nespočet, většinou se ale dají zařadit do jedné ze základních kategorií. Tato zařízení mohou být integrovaná do mixážních pultů (zpravidla ekvalizér a kompresor), nebo existovat samostatně. Následující kategorie jsou univerzální a jejich zástupce nalezneme jak v analogové, hardwarové doméně, tak v té softwarové.

Obrázek 2: externí zvukové procesory

1.2.1 Ekvalizér

Měnit tonální kvalitu průchozího signálu je možné díky procesoru, který je označován slovem ekvalizér. Principiálně se jedná o zařízení, které disponuje několika obvody – filtry, které dokáží amplifikovat signál pouze v určeném frekvenčním pásmu. Mezi nejjednodušší typy filtru patří horní a dolní propust, které slouží k odstranění nízkých, respektive vysokých frekvencí. Dalším typem je takzvaný „shelving filter“, který slouží k zesílení nebo zeslabení části spektra před, respektive za zvoleným bodem. Tento typ filtru se děli na „low shelf“, u kterého je ovlivněna část spektra před vybranou frekvencí a „high shelf“, který naopak ovlivňuje frekvence za vybraným bodem. Pokud je potřeba upravovat signál v úzké části frekvenčního spektra, musíme použít „peaking filter“, který nám dovolí zesilovat nebo naopak zeslabovat přesnou skupinu frekvencí. Tyto základní typy filtrů se s různými možnostmi nastavení a v různých kombinacích objevují na skutečných zařízeních. Jednoduché implementace takových filtrů můžeme nalézt například i na domácím hi-fi zesilovači. Nastavení „basů“ a „výšek“ je typicky „low shelf“ a „high shelf“ filtr. (White, 2001)

1.2.1.1 Parametrický ekvalizér

Tento typ má pro každý filtr zpravidla tři nastavitelné parametry. První je volič frekvence, kterou chceme zesilovat či zeslabovat. Druhý parametr se označuje jako „Q“ a určuje šířku pásma neboli kolik okolních frekvencí v jaké míře bude ovlivněno. Poslední parametr určuje o kolik bude navolená frekvence s šířkou pásma „Q“ zesílena nebo zeslabena. Parametrické ekvalizéry se typicky vyskytují ve formě digitálního softwaru. (MasterClass, ©2024a)

Obrázek 3: parametrický ekvalizér SSL E-Series EQ

1.2.1.2 Grafický ekvalizér

Oproti parametrickému ekvalizéru tento typ zpravidla nabízí pouze jeden ovládací prvek pro pevně daná frekvenční pásma, a to sice jejich zesílení a zeslabení. Typicky takovéto ekvalizéry můžeme nalézt v domácích zvukových systémech, v automobilech či na zesilovačích. Někdy se setkáme pouze se třemi voliči označenými „basy, středy, výšky“. (MasterClass, ©2024a)

Obrázek 4: grafický ekvalizér dbx iEQ-31

1.2.2 Kompresor

Kompresory a limitery jsou nástroje pro hudební produkci, které se používají ke zmenšení rozdílu mezi nejtišími a nejhlasitějšími částmi audio signálu, díky čemuž je možné dosáhnout profesionálních výsledku. Pokud jsou tyto fundamentální efekty použity správně, dokážou písním dodat vyvážený, hlasitý a úderný zvuk. Pokud je ale komprese excesivní, může z nahrávek vysát život. V rámci jak hardwarových, tak softwarových kompresorů je možné se setkat s několika nastavitelnými parametry. Prahová hodnota (Threshold) udává úroveň, které musí signál dosáhnout, aby byl zkomprimován. „Knee“ určuje přechod mezi nezkomprimovaným a zkomprimovaným stádiem. Buď je na výběr z „soft“ a „hard“ knee, nebo lze nastavit polohu mezi oběma možnostmi. „Soft knee“ zaručuje plynulejší průběh komprese. „Attack“ je parametr, který určuje, jak dlouho trvá reakce kompresoru na překročení prahové hodnoty. Naopak „release“ určuje, jak dlouho se bude vracet signál do své nezkomprimované podoby neboli jak rychle se kompresor „resetuje“. Kompresní poměr specifikuje množství komprese aplikované na původní signál. Toto nastavení se udává v decibelech, například kompresní poměr 2:1 indikuje, že pokud vstupní signál překročí prahovou hodnotu o 2 dB, bude ztlumen o 1 dB, překročení o 8 dB bude znamenat atenuaci

o 4 dB. Kompresní poměr 20:1 a větší už je považován za „limiting“, což je efekt, který by měl zamezit tomu, aby signál vůbec překročil prahovou hodnotu. (Universal Audio, Inc., [2024])

1.2.2.1 Lampový kompresor

Od 50. let 20. století jsou díky použití elektronek, které saturují signál, známé svým charakterem, který by se dal popsat jako teplý nebo barevný. Lampové kompresory se vyznačují pomalejšími časy „attack“ a „release“, což se projevuje „vintage“ charakterem těchto zařízení. Kompresor typu Fairchild byl oblíbený např. u skupiny Beatles nebo v nahrávacím studiu Motown. (Universal Audio, Inc., [2024])

Obrázek 5: lampový kompresor Fairchild 670

1.2.2.2 Optický kompresor

Tento typ funguje díky zapojení světelného elementu a optické buňky. Světelný element mění intenzitu svítivosti na základě amplitudy průchozího signálu, na což reaguje optická buňka regulující atenuaci. Univerzální kompresor Teletronix LA-2A pro zesílení výstupního signálu využívá elektronku. (Universal Audio, Inc., [2024])

Obrázek 6: kompresor Teletronix LA-2A

1.2.2.3 FET

Namísto elektronek se v těchto kompresorech nachází tranzistory. Jedná se o jednotky, které jsou rychlé, transparentní a spolehlivé, skvělé pro zdůraznění bicích nástrojů, vokálů, baskytary nebo kytar. První kompresor s označením 1176 používali všichni, od Led Zeppelin až po Michaela Jacksona. (Universal Audio, Inc., [2024])

Obrázek 7: FET kompresor Urei 1176

1.2.2.4 VCA

Další oblíbené a známé modely jako SSL G Bus nebo dbx 160 spadají do kategorie polovodičových (solid state) zařízení. Disponují skvělým zvukovým charakterem vhodným pro bicí, kytary, nebo třeba kompresi celého mixu. (Universal Audio, Inc., [2024])

Obrázek 8: Solid State Logic G Series Bus Compressor

Mnoho legendárních analogových hardwarových kompresorů je dnes možné zakoupit ve formě pluginů. Mezi firmy, které takové produkty nabízejí, patří například Universal Audio, Waves Audio, Brainworx nebo Slate Digital.

1.2.3 Channel Strip

Pojmem „channel strip“ se označuje plugin nebo hardwarový procesor, který disponuje kombinací nástrojů pro mix v rozložení typickém pro mixážní konzole. Samotný termín „channel strip“ odkazuje ke konstrukci jednotlivých kanálů na mixážním pultu, které se typicky skládají z mikrofonního předzesilovače, horní a dolní propusti, ekvalizační sekce, dynamické sekce a tahového potenciometru. (Hahn, 2024)

Obrázek 9: channel strip Rupert Neve Designs Shelford Channel

1.2.4 Další efekty

Kromě ekvalizérů a kompresorů se mezi nejběžnější typy zvukových procesorů řadí dozvukové efekty, pomocí kterých lze jednotlivé prvky hudební aranže zasadit do prostoru. Ať už se jedná o reverby typu „plate“, „spring“, nebo „room“, které jsou z principu elektroakustické, analogové páskové echo, nebo digitální delay proslavený v 80. letech, všechny tyto typy existují v podobě softwarových emulací.

Velmi oblíbené jsou také pluginy určené k saturaci signálu. Na trhu najdeme emulace studiových magnetofonů, nebo třeba frekvenční enhancery založené na elektronkovém zkreslení. Kromě toho lze narazit na nespočet psychoakustických efektů fungujících na principu posunu fáze, které také vychází z reálného hardwaru.

2 ANALOGOVÁ WORKFLOW

První záznamy hudebních produkcí probíhaly velmi primitivním, mechanickým způsobem. Zvukový mix byl dán vzdáleností jednotlivých hudebníků od trychtýře, kterým se mechanicky zvukové vlnění přenášelo na záznamové médium – zprvu na rotující válec, později na disk. Během 20. století se možnosti záznamu a postprodukce hudebních nahrávek vyvinuly od jednokanálového formátu, přes stereo až do vícestopého záznamu na magnetofonový pás. To znamenalo, že už nebylo nutné vystoupení nahrát v jeden moment a hudebníci mohli opravovat chyby ve výkonu či přidávat vrstvy nástrojů. Dnes se tento proces odehrává z většiny v DAW. (Mendelson, 2022)

2.1 Mechanický záznam zvuku

Jednou ze zcela prvních technologií záznamu zvuku byl tzv. fonograf, který vynalezl v roce 1877 Thomas Alva Edison. Jednalo se o váleček potažený kovovou fólií, do kterého byl zvuk zaznamenám jehlou vibrující díky mechanickému přenosu zvuku. Jelikož se jedná o nejprimitivnější technologii zvukového záznamu, jsou tyto nahrávky velice technicky nedokonalé – vždy byla zaznamenána pouze část slyšitelného frekvenčního spektra. O deset let později přišel s obdobným zařízením Emil Berliner, který vyměnil váleček za disk. Tyto nahrávky bylo možné přehrát na zařízení, které Berliner pojmenoval „Gramofon“. (Phonograph, ©2024)

2.2 Magnetický záznam zvuku

Ukládání dat na magnetické medium bylo poprvé představeno v roce 1900 dánským inženýrem Valdemarem Poulsenem. Během dalších let vývoje po celém světě se rozšířilo využití magnetického pásu k ukládání zvukového nebo video signálu, nebo dokonce k zálohování počítačových dat a měření z vědeckých nástrojů. Magnetický pás představuje kompaktní a ekonomický způsob uchovávání dat s možností jednoduchého a rychlého přehrání či vymazání a opakovaného použití média. Samotný magnetický pás se skládá z tenké plastové stuhy, na které se nachází vrstva jemných částic oxidu železa nebo jiného materiálu, který může být jednoduše zmagnetizován. Při nahrávání se průběh analogového signálu zapisuje nahrávací hlavou magnetofonu do magnetického pásu. Při reprodukci prochází magnetický pás pod přehrávací (playback) hlavou a je indukován signál, který je ekvivalentní tomu zaznamenanému na pásu. Tento signál je poté zesílen na vhodnou úroveň, aby mohl být záznam akusticky reprodukován. (Magnetic recording, ©2024)

Obrázek 10: magnetofon Studer A 827

S rozvojem nahrávacích studií ve 20. století se až do nástupu digitálních technologií stal primárním médiem pro záznam zvuku magnetický pás. Vícestopé magnetofony umožňovaly zaznamenat několik zvukových stop, z nichž signál putoval do části mixážního pultu, na

kterém byl dále upravován. V rámci tohoto procesu bylo možné jednotlivé stopy efektovat na externích zařízeních, ze kterých se signál vracel zpátky do mixážního pultu, kde na každém kanále byla nastavena jeho výstupní hlasitost. V případě stereo nahrávky byly výstupy jednotlivých kanálů sečteny a nahrány do z pravidla posledních dvou stop na magnetickém pásu. Až do příchodu digitálních zvukových procesorů a digitálního záznamu se jednalo o čistě analogový (elektrický) signál.

3 DIGITÁLNÍ WORKFLOW

V digitálním prostředí je však potřeba spojitý signál vzorkovat a udělat z něj diskrétní signál už při záznamu. Data jsou uchovávána v podobě binárního kódu a zapsána do bezztrátového kodeku. Tento převod analogového signálu na digitální obstarává AD převodník a slouží k tomu, aby bylo možné se zvukem pracovat v počítačovém softwaru. Kvalitu tohoto převedeného signálu udává bitová hloubka a vzorkovací frekvence. Pokud přiblížíme vlnový průběh analogového signálu, uvidíme, že je plynulý. Naopak diskrétní signál se skládá ze vzorků – hodnot, zapsaných každý jeden vzorek. V případě vzorkovací frekvence 48 kHz je signál zapsán 48 000krát za sekundu. Vzorkovací frekvence také definuje nejvyšší možný reprodukovatelný akustický kmitočet. Tuto hodnotu určuje Nyquistův-Shannonův vzorkovací teorém, podle kterého se nejvyšší harmonická frekvence obsažená v digitálním signálu rovná polovině hodnoty vzorkovací frekvence. V případě vzorkovací frekvence 48 kHz je tedy nejvyšším kmitočtem, který může být v záznamu obsažen a následně reprodukován, frekvence 24 kHz.

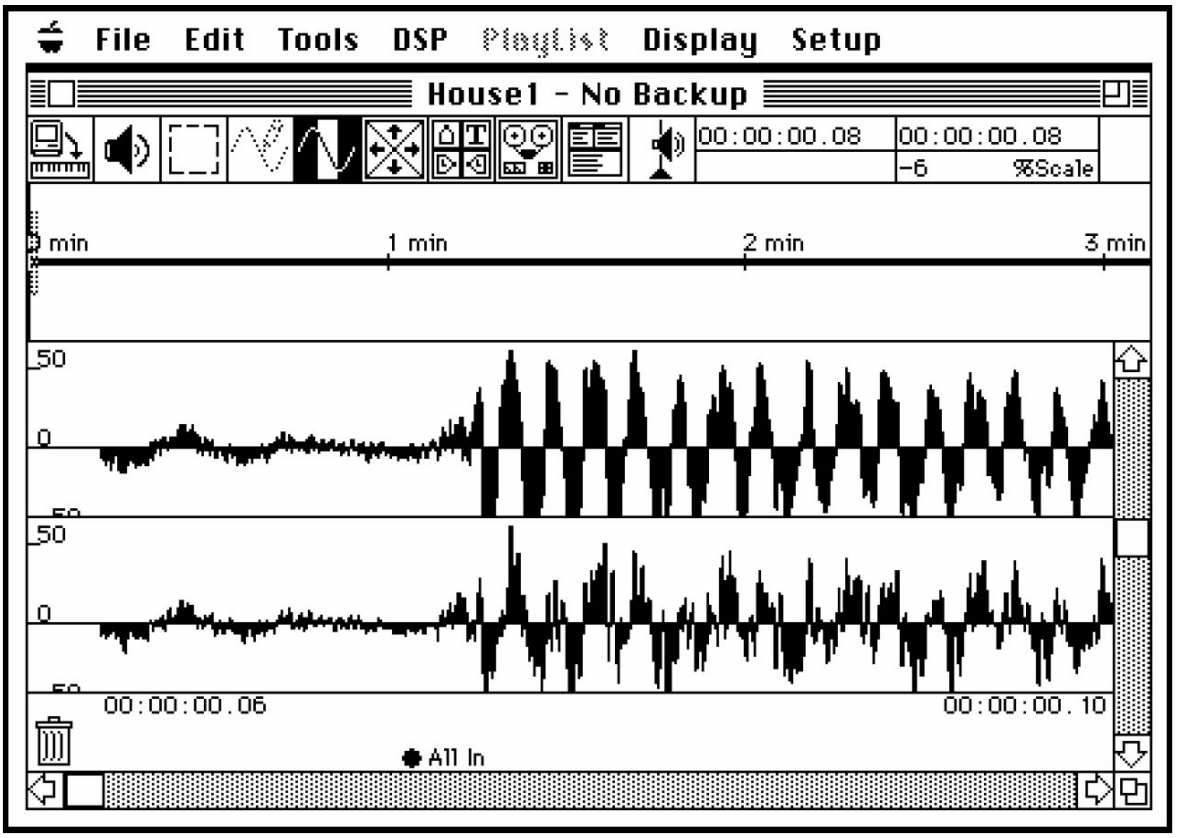
Tento princip popisuje Nyquistův teorém, podle kterého musí být signál zaznamenán minimálně dvěma vzorky na cyklus. Při dodržení tohoto pravidla může být průběh reprodukován bez ztráty kvality. (Nyquist Theorem, ©2024)

Obrázek 11: dvojice převodníků Apogee Symphony

3.1 DAW

Digitial audio workstation je termín označující software pro nahrávání, editaci, mix a mastering hudebních nahrávek pro osobní počítače. DAW konvertuje pomocí převodníku analogový signál, který doputuje do zvukového rozhraní a zapíše jej v digitální formě. Tato zvuková data jsou graficky zobrazena na displeji počítače. Mezi funkce patří zejména nahrávání a střih zvuku, možnost hry na virtuální hudební nástroje, použití zvukových efektů, mix a mastering nahrávek, nebo práce se sound designem. Mezi známé DAW patří například Avid Pro Tools, Ableton Live, Image-Line FL Studio, Apple Logic Pro, nebo Steinberg Cubase Pro. (MasterClass, ©2024b)

Prvním softwarem, který by se dal označit jako DAW, byl v roce 1977 představený Digital Editing System firmy Soundstream. Roku 1989 přišla firma Digidesign s produktem Sound Tools, který je označován za přímého předchůdce Pro Tools. Dalším milníkem bylo představení formátu VST v roce 1996, který umožnil práci mezi různými DAW. (A brief history of the DAW, or Digital Audio Workstation, 2023)



Obrázek 12: Digidesign Sound Tools

Prostředí práce v DAW a počítači s sebou nese nespočet výhod. Je možné ve vysokém rozlišení nahrávat v jeden moment desítky až stovky individuálních stop. Zvuková data mohou být uchovávána ve vysoké kvalitě a velkém objemu bez toho, aniž by téměř zabírala jakýkoli fyzický prostor, jako tomu bylo při skladování kotoučů s magnetickým pásem. Sdílení těchto dat je velmi jednoduché. S dostupností a rychlostí internetu je dnes možné sdílet velké množství zvukových souborů přes celý svět.

Zároveň není nutné vlastnit velké množství drahého zvukového vybavení. Každé DAW dnes nabízí základní úpravy zvuku. Na trhu se neustále objevuje mnoho nových softwarových řešení pro práci se zvukem. Je tedy možné mít v notebooku pomyslné virtuální studio, jehož fyzické vlastnictví by bylo velmi nákladné.

3.2 Softwarové doplňky (Plug-In)

Tato práce se zabývá virtuálními emulacemi analogových zvukových procesorů, primárně softwarovými doplňky určenými pro zvukovou postprodukci v rámci DAW. Pluginy, nebo také zásuvné moduly, jsou součástí workflow nejen zvukových mistrů, ale také profesionálů pracujících s (foto)grafickým obsahem, 3D (VFX) umělců, střihačů, programátorů, nebo lidí pracujících s kancelářským softwarem.

„Zásuvný modul neboli plugin, také plug-in (neologismus vytvořený z anglického slovesa to plug in – zasunout) je software, který nepracuje samostatně, ale jako doplňkový modul jiné aplikace a rozšiřuje tak její funkčnost.“ (Plugin, 2023)

„Slovem Plugin bývá označován doplněk, kterým lze rozšířit nějaký software. Jedná se tedy o dodatečnou součást, kterou lze přidat do programu a poskytnout mu tak nové funkce nebo vlastnosti. Umožňuje uživatelům přizpůsobit a rozšířit schopnosti softwaru, aniž by museli měnit jeho základní kód. Někdy také překládáno jako "zásuvný modul" nebo prostě "rozšíření".“ (Co je to plugin?, ©2008-2024)

V podstatě každé současné DAW operuje s dvěma hlavními okny. Tím prvním je editační okno, ve kterém uživatel vidí každý zvukový, popřípadě MIDI klip na časové ose projektu. Druhým je zpravidla okno s virtuální mixážní konzolí, které přehledně zobrazuje všechny kanály, sběrnice a VCA včetně signálových cest a „insertů“, neboli slotů, do kterých se vkládají právě pluginy.

Použití pluginů je základním principem práce se zvukem v rámci jakéhokoli hlavního softwaru. Většině uživatelů nestačí základní pluginy dodávané s DAW, což vede k tomu, že

se na trhu objevuje stále více společností vyvíjejících jejich vlastní zásuvné moduly. Téměř každá z těchto firem buď přímo nabízí pluginy vycházející z analogového hardwaru, nebo chování spojitého signálu v analogovém systému částečně implementuje do některých svých produktů.

4 HYBRIDNÍ WORKFLOW

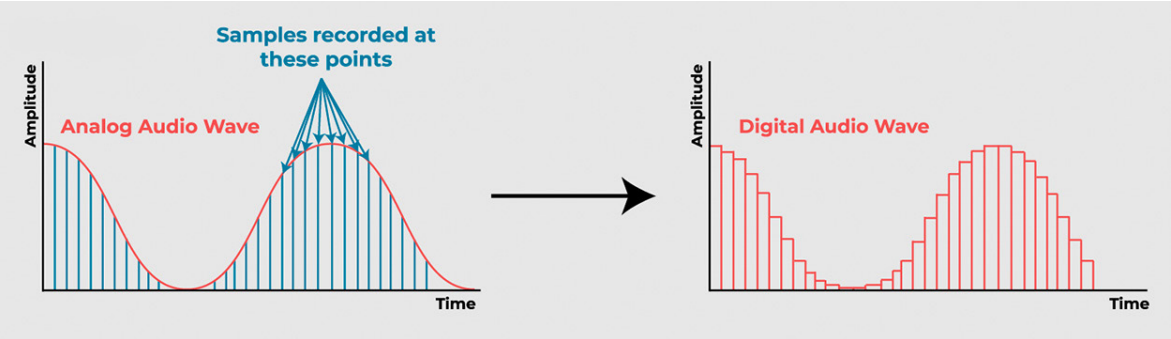
Oblíbeným přístupem je dnes hybridní workflow. K záznamu, střihu a reprodukci (playbacku) slouží počítač, součástí řetězce jsou ale také externí analogové procesory. Tento způsob práce dovoluje použití charakteristického zvukového projevu analogových efektových jednotek ve spojení s efektivnějšími možnostmi manipulace se záznamem v digitálním prostředí. Nevýhodou hybridního přístupu zůstává nutnost velkého množství vstupů a výstupů na AD/DA převodnících a údržba analogových zařízení. Způsob kombinace obou přístupů je velmi rozšířený v profesionálních nahrávacích studiích. Důvodem může být jistě i to, že tato etablovaná studia, která mnohdy fungují desítky let, disponují analogovým hardwarem z dob, kdy digitální systémy neexistovaly.

Je potřeba vzít v potaz množství vstupů a výstupů AD/DA převodníku vzhledem k zamýšlenému množství externích analogových procesorů. Taky je potřeba myslet na to, že v počítači je možné ten stejný virtuální procesor aplikovat na každý kanál klidně několikrát, ve fyzickém světě je taková situace ale prakticky téměř nemožná. Při mixu hudební nahrávky je signál z DAW převeden na analogový a výstupem přiřazeným k danému analogovému zařízení do něj putuje. Po provedení úprav se vrací zpět do převodníku a do DAW na kanál s příslušným vstupem. (Houghton, 2010)

Mnohá nahrávací studia používají analogové procesory již během nahrávání – mikrofon prochází analogovým předzesilovačem, kompresorem nebo limiterem a třeba i ekvalizérem. Díky tomu je zvuk již na vstupu do AD převodníku, a tedy před samotným záznamem, blíž finálnímu zvuku nahrávky. Nicméně tento postup vyžaduje notnou zdatnost zvukového mistra, jelikož úpravy provedené tímto způsobem nelze zvrátit stejně jako to lze v případě zpracování až v rámci mixu.

5 ANALOGOVÝ VERSUS DIGITÁLNÍ SIGNÁL

Abychom lépe pochopili, co se děje se zvukovým signálem při zpracování v analogovém a digitálním prostředí, je potřeba nejdříve podrobně prozkoumat rozdíly mezi oběma druhy signálu.



Obrázek 13: převod analogového signálu na diskrétní

5.1 Analogový signál

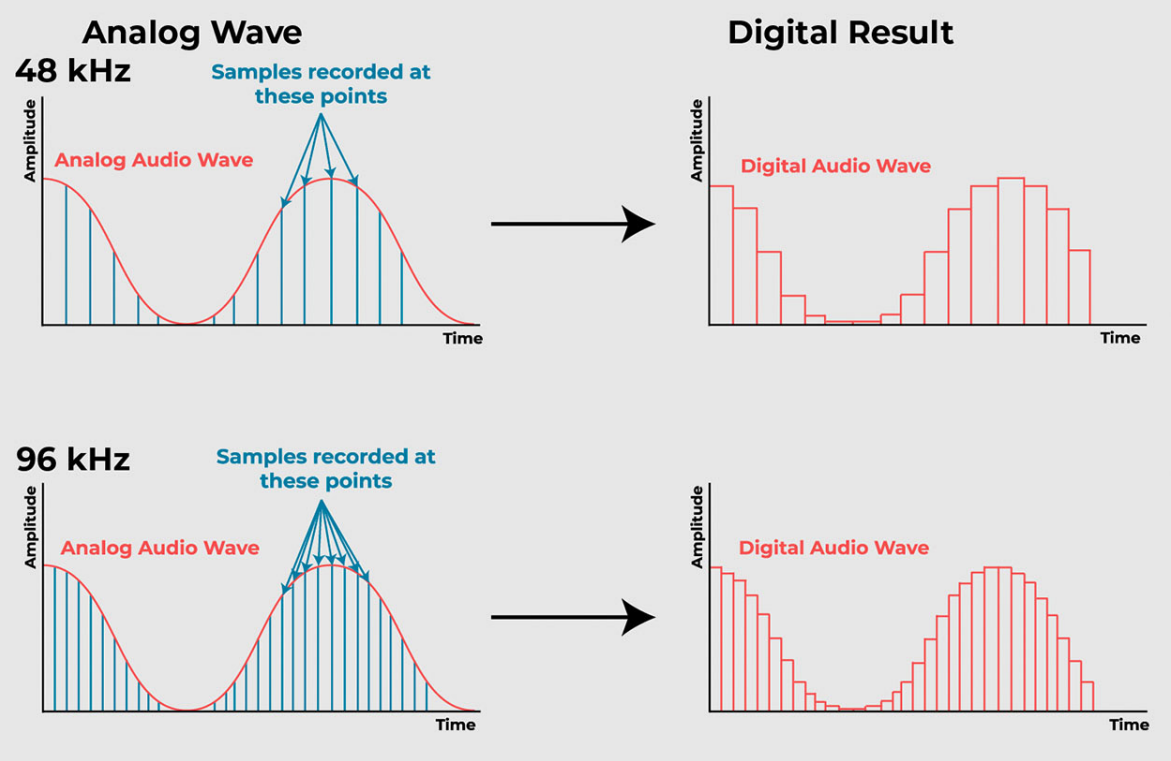
Spojitý signál je kontinuální a ve své nejjednodušší formě má tvar sinusoidy. Informace v elektrickém signálu putujícím vodičem jsou zakódovány ve změnách amplitudy a frekvence. Počet jednotlivých hodnot zaznamenaných ve spojitém signálu není konečný, jelikož v jakémkoli bodě v čase bude hodnota jiná. Průběh analogového signálu se zobrazuje jako napětí závislé na čase. (Monolithic Power Systems, Inc., ©2024)

5.2 Digitální signál

Oproti tomu digitální signál tyto hodnoty vyjadřuje v daném časovém úseku přesným číslem. Množství těchto hodnot určuje vzorkovací frekvence signálu. V případě vzorkovací frekvence 48 kHz se hodnota signálu změní zhruba každé 0,000021 sekundy. Tvar průběhu takového číslicovému signálu je tedy sice obdélníkový, ale vzhledem k rychlosti změn jeho hodnot se lidskému uchu jeví podobně jako sinusový.

Digitální (diskrétní či číslicové) signály jsou méně náchylné na zkreslení, šum a rušení. Přesto je analogový signál pro přenos zvuku vhodnější. Analogový signál je hustší co do počtu obsažených změn a díky tomu tyto změny lépe reprezentuje. Na druhou stranu analogový signál je složité přenášet na dlouhé vzdálenosti a je mnohem náchylnější na zkreslení a chybovost. (Monolithic Power Systems, Inc., ©2024)

Převodu analogového signálu na digitální se říká kvantování. Tento proces by se dal přirovnat k záznamu videa. Kamera zachytí určitý počet snímků za vteřinu, čím vyšší tento počet je, tím plynulejší je obraz. V kontextu záznamu digitálního signálu převodník zachycuje tisíce vzorků během každé vteřiny. Čím vyšší je vzorkovací frekvence a bitová hloubka, tím lepší je rozlišení zaznamenaného audia. Bitová hloubka vyjadřuje počet hodnot amplitudy signálu, které lze pro každý vzorek zaznamenat. V případě 16-ti bitové hloubky se jedná o 65 536 hodnot, při 24 bitech až 16 777 216 hodnot a pokud bychom zaznamenávali zvuk do 32 bitového souboru, tento počet bude 4 294 967 296. (Brown, 2021)

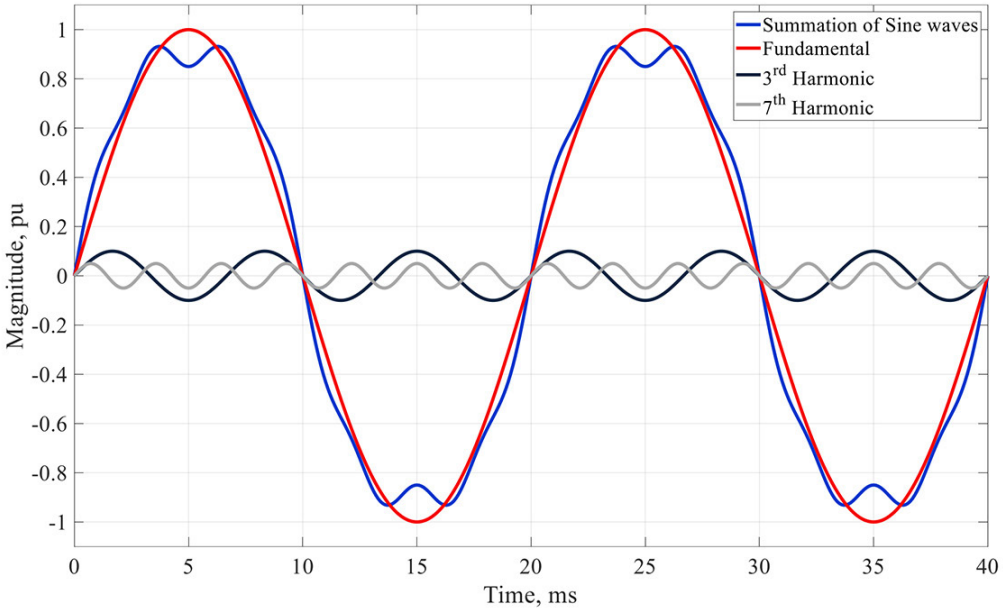


Obrázek 14: rozdíl v rozlišení digitálního signálu při stejné bitové hloubce a dvojnásobné vzorkovací frekvenci

6 ZKRESLENÍ

Zkreslení je definováno jako změna původního průběhu signálu. Může se jednat o harmonické zkreslení, o změnu frekvenční odezvy signálu, o změnu v jeho amplitudě, nebo o změnu ve fázi signálu. Harmonické zkreslení je definováno nárůstem alikvótních tónů – celočíselných násobků harmonických frekvencí obsažených v signálu. (Distortion, 2024)

Při průchodu signálu s vysokou amplitudou analogovým systémem dochází k saturaci – úbytku vyšších frekvencí v poměru k přímému nárůstu frekvencí v nižších pásmech. Naopak digitální systémy vykazují nejnižší míru zkreslení při využití plného dynamického rozsahu systému. (Comparison of analog and digital recording, 2024)



Obrázek 15: změna průběhu signálu po sečtení základní sinusoidy a harmonických frekvencí

Firma Waves, jeden z předních výrobců softwarových doplňků určených pro práci se zvukem, jako součást svých oficiálních webových stránek provozuje blog, kde jsou popisována mimo jiné témata související s virtuálním emulováním analogových systémů. Je zde např. diskutován právě rozdíl mezi digitálním a analogovým zkreslením. Základní sinusoida se při zkreslení začne měnit na tvar „triangle“ nebo „square wave“. Když aplikujeme dolnopropustní filtr na „square wave“ signál a budeme se blížit k fundamentální frekvenci, budeme na osciloskopu pozorovat změnu tvaru signálu na sinusoidu. (Waves Audio Ltd., 2023)

Jelikož barva jakéhokoli zvuku je dána právě množstvím a poměrem harmonických frekvencí k základní frekvenci udávající tón tohoto zvuku, je patrné, že harmonické zkreslení mění právě barvu zvuku. (Alikvotní tón, 2024)

6.1 Zkreslení a dynamická komprese

U dynamické komprese je běžné, že pracuje s delšími časovými okny a nereaguje na jednotlivé cykly průběhu signálu, jako je tomu u zkreslení. Pokud ale použijeme kompresor s velmi rychlými časy, je možné, aby reagoval na jednotlivé cykly nižších kmitočtů a generoval tak zkreslení. Toto se může stát hlavně u limiterů nebo clipperů, pokud je vstupní signál příliš silný. Zkreslení způsobené použitím velmi rychlého času kompresoru ve spojení s vysokým kompresním poměrem je předvedeno na softwarové kopii slavného kompresoru UREI 1176. Waves tvrdí, že dokáží relativně přesně replikovat analogové zkreslení v digitální doméně v rámci jejich plug-inů emulujících klasická analogová zařízení. (Waves Audio Ltd., 2023)

6.2 Zkreslení spojitého a číslicového signálu

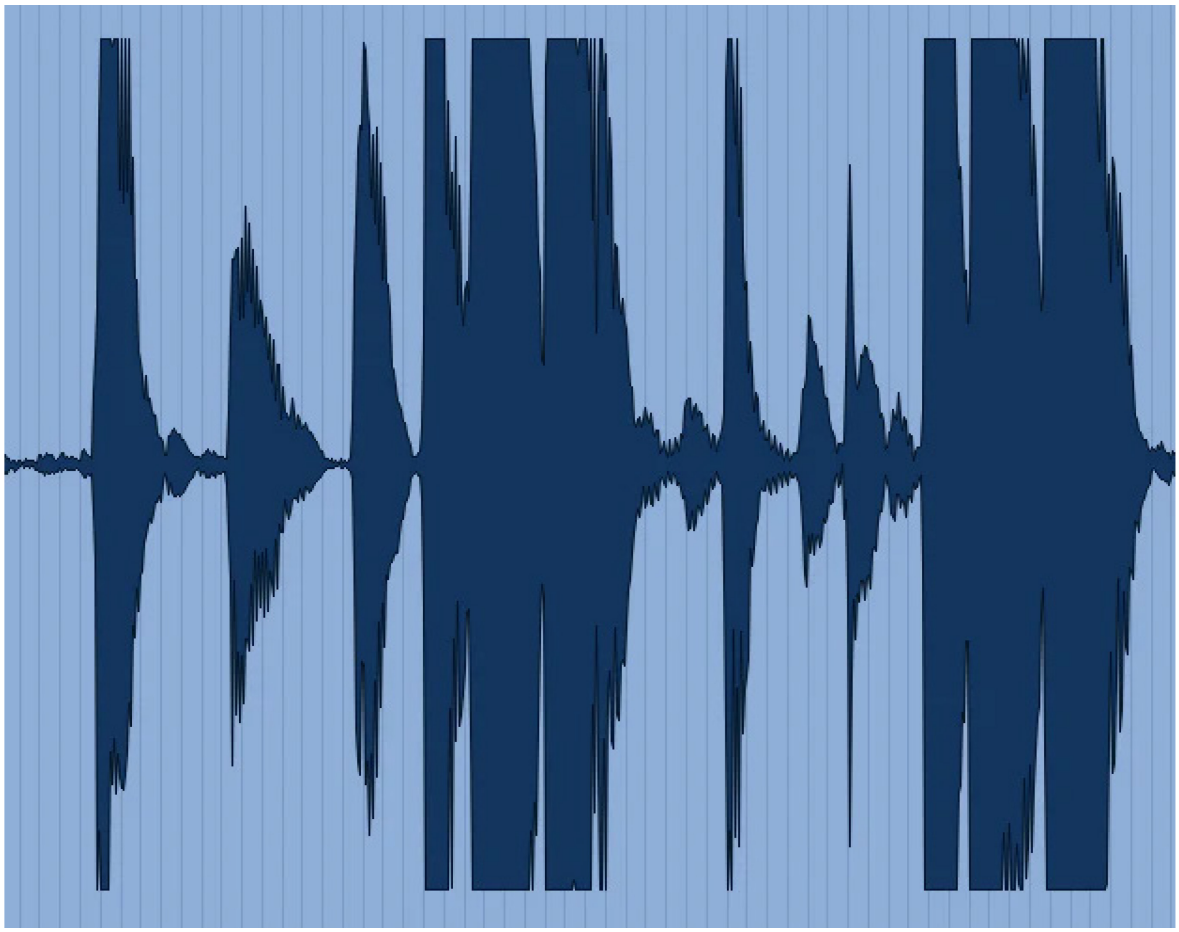
Digitální zkreslení je charakterizováno naprosto exaktním zarovnáním signálu v momentě, kdy překročí prahovou hodnotu. V analogových systémech můžeme sledovat trošku jiný průběh. Průběh signálu se sice po překročení prahové hodnoty změní, nikoli však tak razantně a přesně jako v případě digitálního zkreslení. Spojitý signál může být zkreslený například pouze z pomyslné vrchní strany, nebo může zkreslení při stejné amplitudě jinak reagovat v závislosti na frekvenci. Původní definice zkreslení, která tvrdí, že zkreslení je rozdíl mezi vstupním a výstupním signálem, je příliš jednoduchá, než aby vystihla veškeré skutečnosti, které se dnes jako zkreslení označují. Dnes se jako zkreslení označuje jev, který provází přetížení zvukového zařízení tím, že jím projde signál, který je příliš hlasitý. Při decentním analogovém zkreslení dochází k nasycení signálu, jehož zvuková charakteristika by se dala označit slovy hutný, plný, nebo teplý. Při větší míře zkreslení už může být tento efekt nepříjemný a zvukový profil se může úplně rozpadnout až po naprostou nesrozumitelnost. Každopádně se zkreslení řadí mezi stylistické prvky mnoha různých žánrů, od rockových elektrických kytar, až po bicí syntetizér 808 typicky používaný v žánru drill. (Waves Audio Ltd., 2023)

6.3 Clipping – přebuzení analog vs digital

Jak v analogové, tak digitální doméně jsme omezení dynamickým rozsahem daného systému. Po překročení horní hranice tohoto rozsahu dochází ke zkreslení signálu – objevuje se tzv. „clipping“. Zkreslení digitálního a analogového signálu však nese specifické rysy a neprobíhá totožně. V případě digitálního prostředí nás limituje bitová hloubka systému, která určuje maximální kladnou hodnotu, které může signál dosáhnout.

Při překročení maximální hodnoty zesílení dochází k ořezání signálu na tuto úroveň a vzniká zkreslení. Sinusový signál se mění na obdélníkový. (Clipping (zvuk), 2023)

V analogovém prostředí jsme omezeni rozsahem hodnoty napětí, při jejímž překročení dochází rovněž ke zkreslení signálu, nikoli však ostrým zarovnáním signálu k horní hranici jako u digitálního systému. Při zaznamenávání zvuku je analogový signál zkreslován každým zařízením, kterým prochází. V hudební produkci je toto zkreslení někdy záměrně využíváno k dodání charakteru zvuku. (Lloyd, b. r.)



Obrázek 16: velmi extenzivní clipping v digitální doméně

6.4 THD

Celkové harmonické zkreslení je veličina označující zkreslení sinusového signálu. Jedná se o poměr součtu výkonů všech vyšších harmonických frekvencí k základní harmonické frekvenci a vyjadřuje se v procentech. Čím nižší THD, tím větší věrnost původnímu signálu. Při průchodu signálu zařízením, které se nechová lineárně, je signál obohacen o vyšší harmonické frekvence. (Total harmonic distortion, 2024)

6.5 Nechtěné šumy a ruchy

Zdroje šumu a ostatních parazitních intermodulačních zkreslení mohou být různé. Ať už se jedná o mechanický, elektrický nebo tepelný zdroj, dá se množství tohoto šumu vyjádřit vztahem poměru šumu k signálu. Zkratka SNR (Signal to Noise Ratio) se běžně udává jako parametr zvukových zařízení. (Comparison of analog and digital recording, 2024)

6.6 Linearita/nelinearita

Lineární systém je zjednodušeně řečeno takový systém, jehož výstup přesně odpovídá změně na vstupu. Pokud vstupní sinusový průběh zesílíme o 10 mV, výstupní signál bude odpovídat této změně. Metoda „black box“ (viz. kapitola 7) je lineárním systémem. (Linear system, 2023)

V rámci elektronických zařízení pro práci se zvukem se dá o linearitě mluvit v kontextu několika rovin. Frekvenční či fázová odezva daného zařízení může být lineární. To znamená, že při stejném zesílení v určeném frekvenčním pásmu (např. 20 Hz až 20 kHz) budou mít všechny frekvence stejnou výstupní úroveň. Fázové chyby ovlivňují signálový průběh a tím mohou slyšitelně ovlivňovat např. transientní zvuky jako perkuse či konsonanty ve vokální aranži. (Agnew, March 6, 2020)

Analogová zařízení zpravidla vykazují určitou míru nelinearity. Nedokonalosti v elektronických součástkách signál manipulují na první pohled nechtěným způsobem. Lidskému uchu se ale tyto nedokonalosti často jeví kladně. Typickým příkladem jsou diody používané k zesilování signálu, kterým se běžně říká také elektronky či lampy. Ty se nachází v kytarových zesilovačích, v reproduktorových zesilovačích pro domácí Hi-Fi sestavy, či jako zesilovací součást profesionálních audio zařízení v nahrávacích studiích. (Agnew, January 24, 2020)

Různé jevy (včetně clippingu) v analogovém systému popisuje ve svém edukačním videu výrobce virtuálních nástrojů a efektů Eplex7 DSP. Ve videu je vizuálně znázorněno, jaké odchylky analogové součástky generují a jaký vliv to má na průběh signálu. Nepřesnosti v analogovém systému signál zaoblují a dělají jej měkčí, pro lidské ucho obecně příjemnější. Podle videa se odezva analogového systému neustále mění a odchylka se pohybuje kolem 0,1 až 2%. Analogový systém tedy není lineární, průběh signálu se mění kvůli saturaci a šumu. Díky neustálým změnám v napětí elektronických součástek produkují analogové zařízení organičtější zvuk. (How analog emulation works? What is the difference between digital and analog hardware synthesizer?, 2021)

7 VÝVOJ EMULACÍ ANALOGOVÝCH JEDNOTEK

Při vývoji softwaru simulujícího chování analogového systému se používají dva hlavní přístupy. První postup je založen na přesné softwarové rekonstrukci každé z elektronických součástek daného fyzického zařízení. Celý obvod je tedy pomyslně smontován ve virtuálním prostředí. Uživatel vidí na obrazovce grafické znázornění tohoto zařízení a měněním jednotlivých parametrů mění přímo část obvodu na daný parametr navázanou. Druhou možností při výrobě těchto softwarů je daným fyzickým zařízením nechat projít množství testovacích signálů a změřit jejich rozdílnosti mezi vstupem a výstupem. Na základě tohoto postupu je možné vytvořit DSP, které bude chování zamýšleného zařízení s vysokou přesností kopírovat. Obě metody nabízí možnost vytvořit velmi přesné softwarové kopie fyzických analogových zařízení. Přesto je při výrobě takových softwarů nutno překonat několik znesnadňujících okolností. Například pokud má fyzická předloha kontinuální ovládání a tím pádem nekonečný počet nastavení daného parametru, musí být testovací signál zařízením zpracován násobně vícekrát, než pokud je ovládání daného parametru krokové. V takovém případě existuje maximální počet možností pro daný parametr. (Much, 2021)

V případě kompresoru typu SSL G-Bus máme na výběr z 6 možností nastavení poměru komprese a z 6 možností parametru „Attack“, který určuje rychlost reakce kompresoru na signál, který překročí nastavený práh. (Solid State Logic, ©2024b)

V případě tohoto Plug-Inu by tedy bylo pravděpodobně jednodušší zvolit druhou z uvedených metod. Naopak pro zařízení s plynule nastavitelnými parametry je vhodnější první metoda. Pro funkční emulaci těchto zařízení ve virtuálním prostředí by zabralo velké množství času vycházet z metody druhé, kdy by bylo potřeba celý proces provést mnohem rozsáhleji než u zařízení s krokovými parametry. Nevýhodou první metody, kdy je virtuálně zrekonstruován celý analogový systém, je její až přílišná přesnost. Tímto způsobem je obtížné do konečné emulace zahrnout část nelineárního chováni analogu a jeho nepředvídatelnost. Metoda DSP takovéto nuance dokáže detekovat a integrovat lépe, každopádně ani jedna z metod není stoprocentní. Analogová zařízení spolu chtě nechtě interagují a dokážou vytvářet další harmonické nebo intermodulační zkreslení. (Much, 2021)

Dave Berners (šéf Universal Audio, firmy, která vyvíjí emulace již déle než 20 let) tvrdí, že nejsložitější k replikaci v digitálním prostředí jsou fyzické jednotky zvukových procesorů vykazující širokopásmové nelineární chování. Tyto komplexní emulace jsou zároveň

relativně náročné na výpočetní výkon. Edmund Pirali z Intelligent Devices potvrzuje, že právě věrné emulování nelinearit v chování analogových systémů je hlavním problémem a popisuje, jakým způsobem se dá jinak velmi složitý proces zjednodušit. Niklas Odelholm (Softube) dokonce přirovnává vývoj nelineárního softwaru k modelování stochastického chování částic v CERN. Zakladatel firmy McDSP, Colin McDowell, tvrdí, že jakákoli hardwarová jednotka může být rekonstruována softwarově a že limitace existují pouze v myslích inženýrů vyvíjejících tato DSP. Ten zároveň prozrazuje, že McDSP své produkty vyvíjí metodou „black box“, tedy zprocesováním testovacích signálů hardwarovým efektem a následným srovnáním naměřených vstupních a výstupních hodnot. (Lambert, 2010)

Stochastika je obor zkoumající náhodné jevy, zahrnuje teorii pravděpodobnosti a statistiku. Termín vychází z výrazu, který znamená „nahodilý“ či „náhodný“. (Stochastika, 2023)

Černá skříňka (Black Box) je způsob, kterým je možné popsat systém vztahem výstupní hodnoty ke vstupní hodnotě. (Black box, 2024)

8 UŽIVATELSKÉ PROSTŘEDÍ

Plug-iny s emulací analogového systému často vizuálně vycházejí z existujících fyzických předloh. Typické je pro ně tato skutečná zařízení připomínat svým vzhledem i ovládacími prvky. Přesto, že se nacházíme ve virtuální doméně, která nabízí nespočet možností pro nastavení parametrů, jsou takovéto softwarové doplňky často omezeny na možnosti svých fyzických předloh. Pro jakýkoli nástroj je důležitá jednoduchost použití, spolehlivost a flexibilita. Zdá se tedy, že z tohoto pohledu by mohly být plug-iny, které se zaměřují spíše na téměř neomezené množství nastavení, lepším nástrojem. Neomezené možnosti nás ale mohou zpomalovat v tom smyslu, že potrvá déle, než pro danou situaci dokážeme nalézt ideální nastavení. Menší spektrum možností může podporovat kreativní přemýšlení a urychlovat tvůrčí proces, kterým bezesporu hudební produkce, nebo jakákoli jiná forma práce se zvukem je. Z osobní zkušenosti, i z výpovědí různých zvukových inženýrů vím, že rychlost je při práci naprosto klíčová, o to víc v rámci mixu hudebních nahrávek. Proces vzniku mixu je hodně intuitivní a je potřeba disponovat nástroji, které jsou jednoduše ovladatelné a efektivní.

Rick Rubin (2023) ve své knize The Creative Act: A Way of Being uvádí hnutí Dogma 95, které si vytyčilo 10 bodů, podle kterých autoři museli tvořit, jako příklad pozitivního dopadu omezených možností na výsledné dílo. Obhajuje omezené možnosti (vytyčení pravidel) v tom smyslu, že podněcují kreativitu a mohou dát práci jedinečný charakter. Zároveň hovoří o tom, že dobrovolné a cílené omezení se na pár pravidel je nejvíce hodnotné pro umělce, kteří již nějaká díla vytvořili, v takové chvíli určitá omezení mohou odhalit opravdové inovátorství.

Kromě toho je důležitá také rychlost práce, kterou nabízí jednodušší nástroj. Ta je mnohdy zásadní pro zachycení náhle příchozí myšlenky.

V případě kompresoru nám může být k dispozici například pouze „threshold“ nebo „gain reduction“ a „gain“ pro dorovnání výstupní hlasitosti po kompresi, případně rychlosti parametrů „attack“ nebo „release“ s pevnými hodnotami. Ekvalizér může být omezen pouze na několik filtrů s krokovou volbou pásma, jeho šířky a zisku.

Obvykle i základní plug-iny integrované v každém DAW (Digital Audio Workstation) disponují mnohem širšími možnostmi nastavení parametrů. U kompresorů se tedy může jednat o precizní zadání kompresního poměru, křivky náběhu komprese či nastavení časů

s přesností na milisekundy. U ekvalizátorů je možné volit pásmo s přesností na desetiny Herz, nebo jej zesilovat v mnohem větším rozsahu.

Mezi oblíbené typy pluginů patří „channel strip“ vycházející z velkoformátových mixážních konzolí. Jedná se o kopie fyzických kanálů, které zpravidla obsahují vstupní a výstupní sekci, ekvalizér a dynamický processing (kompresor, gate / expander), pokročilejší varianty mohou mít ovládání množství harmonického zkreslení (THD), nebo další funkce. V rámci jednoho softwarového doplňku se nachází základní jednoduché nástroje, pomocí kterých je uživatel dělat rychlé fundamentální zásahy. Skutečnost, že se tyto základní nástroje nachází v jednom softwarovém doplňku, dokáže velmi urychlit pracovní postup (workflow). Na druhou stranu je uživatel skutečně omezen množstvím konkrétních parametrů, které je možné zadat. Pokud se ve zvukovém materiálu nachází příliš mnoho problémových frekvenčních pásem, pravděpodobně bude nutné materiál nejdříve upravit ekvalizérem s větší flexibilitou.

Obrázek 17: uživatelské rozhraní pluginů často vychází ze vzhledu reálných hardwarových zařízení

9 VÝCHODISKA

Z výše popsaných témat je jasné, že pluginy simulující analogové zvukové procesory by měly vykazovat určitou míru nelineárního chování, především pak harmonického zkreslení. Míra tohoto zkreslení je dána konstrukcí daného softwaru a vstupní úrovní. Platí, že čím silnější signál do takovéhoto zařízení vstupuje, tím vyšší je míra harmonického zkreslení. Linearita frekvenční či fázové odezvy je jednoduše měřitelná. Z tohoto hlediska je možné každý jednotlivý software, který se prezentuje jako virtuální kopie emulující reálný hardware, jednoduše verifikovat. Kvůli nelinearitě analogových systémů však vzniká nevyhnutelný paradox. Jelikož se analogový obvod neustále nepatrně mění, není zcela možné naměřit jednu exaktní hodnotu, která bude v čase neměnná a tu použít k emulaci pluginu. Stejně tak nebude prokazatelné, že konkrétní plugin je virtuální kopií určitého analogového procesoru. Lze tedy tvrdit, že pluginy, nebo obecně software simulující analogový obvod, je přesný pouze do určité míry. Na druhou stranu je to přesně ona nepřesnost, která je součástí charakteru analogových zařízení.

Zda se alespoň částečně daří pluginům emulovat analogový hardware je tedy exaktně ověřitelné. Těžší je odpovědět na otázku, jestli a jaké výhody tento typ softwarových nástrojů nabízí. Jelikož se jedná o pracovní nástroje, může zde velkou roli hrát osobní preference člověka, který je ke své práci bude využívat. Může být pravděpodobné, že takové pluginy bude spíše používat zvukový mistr, který zároveň pracuje s opravdovými hardwarovými analogovými efekty. Na druhou stranu menší počet ovládacích prvků může být výhodou a branou k pochopení principů jednotlivých typů procesorů i pro člověka, který se začíná zpracováním zvuku teprve zabývat.

Bezesporu se ale jedná o velmi oblíbený typ softwaru. Při zobrazení nejprodávanějších pluginů se na prvních místech drží právě kopie slavného hardwarového vybavení.

Několik balíků s pluginy Universal Audio, pluginy Soundtoys či SSL patří k nejprodávanějším pluginům v kategorii zvukových procesorů na jednom z největších e-shopů s hudebninami a zvukovou technikou Sweetwater. (Sweetwater Sound, ©2024)

Mezi neprodávanějšími softwarovými doplňky na webu www.audiodeluxe.com nalezneme taktéž řadu produktů simulujících analogové zařízení. (AudioDeluxe, ©2024)

Zájem ze strany uživatelů je tedy o diskutovaný typ softwaru nesporný. Důvody mohou být různé, zásadní by ale měla být konečná zvuková kvalita. Běžný konzument bude

pravděpodobně řešit pouze subjektivní estetické hodnocení zvukového charakteru nahrávky bez ohledu na prostředky, kterými ho bylo dosaženo.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

10 POUŽITÝ SOFTWARE

V rámci experimentu, ve kterém jsou zkoumány a následně porovnávány vlastnosti několika pluginů, byly zvoleny produkty, které virtuálně simulují analogový hardware a v opozici k nim také produkty, které se buď neprezentují tím, že by analog emulovaly, nebo se přímo prezentují jako velmi přesné, lineární. Přesto, že srovnávané pluginy obsahují množství pokročilých funkcí, jsou pro komparaci použity pouze ty parametry, které jsou vždy pro porovnávané pluginy společné.

10.1 FabFilter Pro-Q 3

Podle stránek výrobce se jedná o ekvalizér s bezkonkurenční kvalitou zvuku a workflow. Ekvalizér je pravděpodobně nejpoužívanějším nástrojem v rámci mixu a masteringu hudebních nahrávek a FabFilter Pro-Q 3 nabízí jen to nejlepší. Jako hlavní přednosti pluginu Pro-Q 3 výrobce uvádí například nejlepší možnou kvalitu zvuku, až 24 ekvalizačních pásem, interaktivní GUI (Graphical User Interface) pro pohodlnou a efektivní workflow, ultra strmé nastavení filtru dolní a horní propusti, podporu vícekanálového audia až do Dolby Atmos 9.1.6, zabudovaný spektrální analyzér s funkcí sledování spektra před a po ekvalizaci, otočení polarity fáze, automatickou výstupní hlasitost, mid-side processing, nulovou latenci a spoustu dalších. Na stránce produktu můžeme také nalézt citát The Television Academy, podle které je Pro-Q 3 upřednostňovaným ekvalizérem profesionálů z celého světa. (FabFilter, ©2002-2024b)

FabFilter nabízí všechny funkce typické pro každý parametrický ekvalizér s nespočtem možných nastavení. Žádný existující analogový ekvalizér nedokáže nabídnout takovou flexibilitu jako Pro-Q 3.

Obrázek 18: FabFilter Pro-Q 3

10.2 Brainworx SSL 4000E

Pluginy ve stylu „Channel Strip“ emulující legendární mixážní konzoli Solid State Logic 4000 E na trhu existují hned v několika variantách od různých výrobců (Brainworx, Waves Audio, Universal Audio, Solid State Logic). Pro účely této práce bude použit plugin od firmy Brainworx, jelikož se jedná o nástroj, který vlastním a při své práci používám posledních několik let. Nehledě na výrobce všechny zmíněné pluginy kopírují funkcemi původní hardware SSL 4000 E. Na softwarových verzích najdeme vstupní sekci, ekvalizační sekci, dynamickou sekci a výstupní sekci.

Podle Solid State Logic původní analogová mixážní konzole představená roku 1979 změnila tvář nahrávacích studií a stala se jedním z nejvlivnějších nástrojů pro hudební produkci vůbec. (Solid State Logic, ©2024a)

Brainworx bx_console SSL 4000 E, jak zní celý název pluginu, je oficiálně schválen výrobcem původní analogové hardwarové verze, firmou SSL. Podle webu Plugin Alliance, což je značka, která oficiálně produkty Brainworx prodává, patří tato konzole mezi oblíbené pulty velkých jmen jako Chris Lord Alge, Tony Maserati nebo Manny Marroquin. Jedná se o jeden z nejlepších mixážních pultů pro rockovou nebo popovou hudbu díky zvukovému

charakteru, který je saturovaný, pevný a asertivní, díky čemuž na tomto pultu vzniklo mnoho hitů 80., 90. a nultých let. Mělo by se jednat o nejlepší softwarovou verzi pultu 4000 E, při vývoji byla využita patentovaná technologie TMT (Tolerance Modeling Technology). Nenajdeme zde obrovské množství funkcí, v rámci ekvalizace jsme omezeni pouze na horní a dolní propust a 4 filtry s volitelnou hodnotou Q, frekvence a zesílení. Výrobce slibuje věrný zvukový charakter odpovídající fyzické předloze z konce 70. let. (Plugin Alliance, LLC, 2024e)

Vzhledem k tomu, že se jedná o kopii analogové mixážní konzole, kromě ekvalizéru tento plugin disponuje dalšími částmi typickými pro mixážní pulty. Najdeme zde vstupní sekci s voličem zisku signálu v rozsahu -10 až +10 dB a volič s označením „V GAIN“, kterým se ovládá množství šumu. Podle manuálu výrobce je tento šum typický pro analogové obvody, a proto je doporučeno určité množství šumu použít. Dále se zde nachází ovládací prvek označený jako „THD“, z čehož by mohlo být patrné, že je možné uživatelsky nastavit množství harmonického zkreslení. Tomu by mohl odpovídat i popis této funkce v manuálu, kde stojí, že „THD“ v tomto případě přidává barvu a hutnost signálu. Je tak možné dosáhnout jemné saturace signálu až velmi silného zkreslení. Pod těmito parametry se v uživatelském prostředí pluginu nachází ovládání „TMT Section“. TMT (Tolerance Modeling Technology) je technologie firmy Brainworx, pomocí které je napříč pluginy v portfoliu tohoto výrobce emulováno chování analogových systémů. V případě pluginu bx_console SSL 4000 E má uživatel možnost vybrat si až ze 72 jednotlivých kanálů. Každý kanál by měl nabízet lehce odlišný zvukový charakter a tím ještě více přiblížit chování softwaru k jeho analogové předloze. V úvodu manuálu najdeme tip, jak dosáhnout zvuku analogové mixážní konzole v rámci workflow v DAW. A to sice tak, že plugin SSL 4000 E vložíme na každou stopu v rámci DAW a poté v jedné instanci tohoto softwaru klikneme na tlačítko „ALL“ v možnosti randomizace kanálů. Tím se v každé instanci tohoto pluginu načte náhodný kanál. Dále na ovládacím panelu nalezneme tlačítko otočení polarity fáze signálu nebo tlačítko „MUTE“ sloužící k úplnému ztišení signálu. Zcela vlevo najdeme dynamickou sekci, kde je možné pracovat s dynamickou kompresí nebo naopak expanzí. V rámci kompresoru máme k dispozici virtuální potenciometry nastavení kompresního poměru, prahové hodnoty, času „release“, a mixu mezi nekomprimovaným a komprimovaným signálem. Čas „attack“ je buď automaticky nastaven softwarem nebo jej lze přepnout do modu „fast“, kdy na transienty reaguje rychleji a komprese je tak agresivnější. Sekce

„Expander / Gate“ disponuje podobnými parametry jako sekce kompresoru, signál však ovlivňuje teoreticky opačným způsobem. (Bx_console SSL 4000 E Plugin Manual)

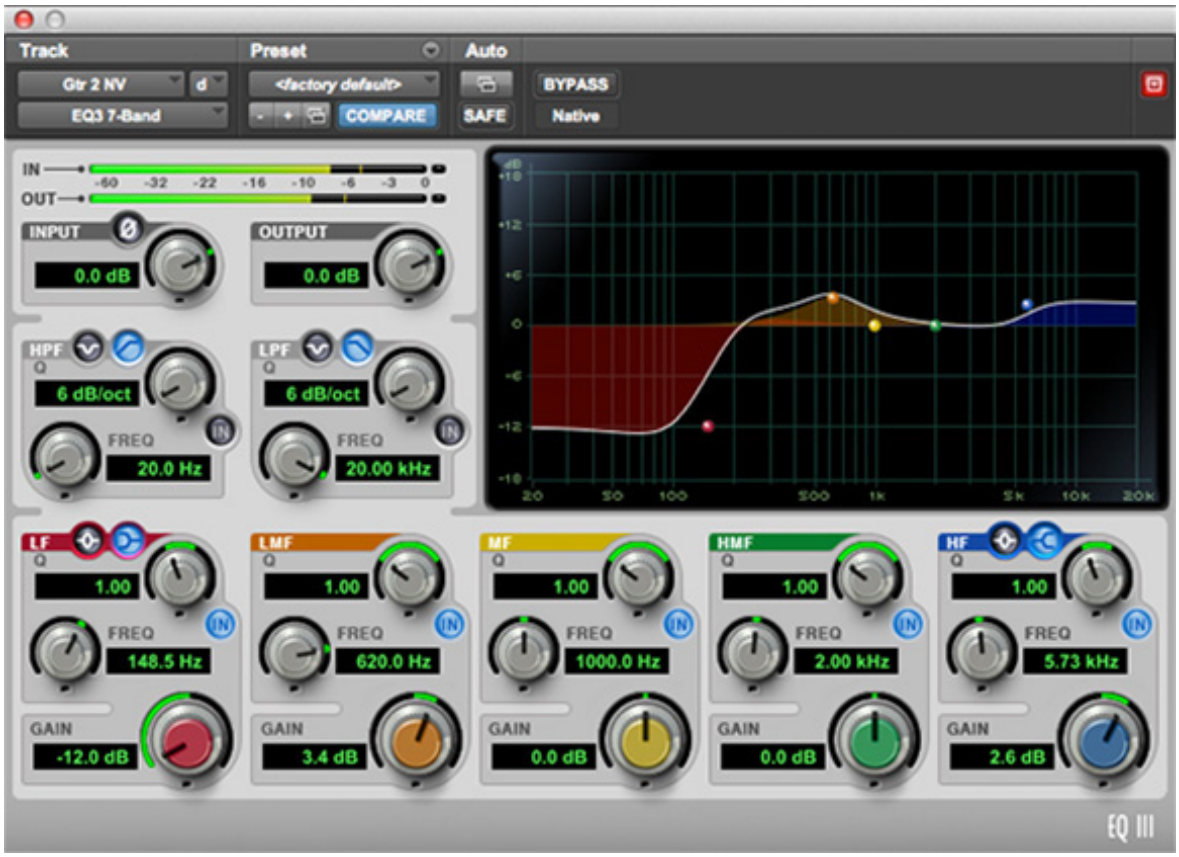
Z uživatelského prostředí pluginu ani z manuálu výrobce není jasná strmost HPF a LPF, Abbey Road Institute však na webu uvádí, že u modelu s černými potenciometry se u HPF jedná o 18 dB na oktávu a LPF zůstává 12 dB na oktávu. (Abbey Road Institute Amsterdam, 2017)

Obrázek 19: Brainworx SSL 4000E

10.3 Avid EQ III

Jelikož jako hostitelský software používám DAW Avid Pro Tools, do srovnání je zařazen i základní ekvalizér integrovaný v Pro Tools.

Pro efektivní využití systému je možné plugin nasadit v konfiguraci s nastavením pouze jednoho pásma, 4 pásem, nebo 7 pásem. V případě plné konfigurace jsou 2 pásma obsazena filtry horní a dolní propustí. Ekvalizér je plně parametrický. (Avid Technology, Inc., ©2024b)



Obrázek 20: Avid EQ III

10.4 FabFilter Pro-C 2

Profesionální komprese pro každého, neskutečný zvuk a charakter. Tak Kompresor Pro-C 2 popisuje výrobce, který zároveň uvádí, že vysoce kvalitní plugin pro náročné zvukové inženýry vyniká všestranností. Pro-C 2 disponuje 8 druhy stylu komprese a velkým množstvím nastavitelných parametrů. Kromě typických parametrů pro kompresory je možné

v pluginu např. sledovat hlasitost, která odpovídá normě ITU-R 1770. (FabFilter, ©2002-2024a)

Stejně jako Pro-Q 3 je kompresor od firmy FabFilter plný možností. Pro potřeby experimentu ale nejsou příliš relevantní, jelikož do stejného typu procesoru budou zadávány stejné hodnoty a pluginy emulující analogový hardware takové funkce z většiny nepodporují.

Obrázek 21: FabFilter Pro-C 2

10.5 Brainworx Buss Compressor

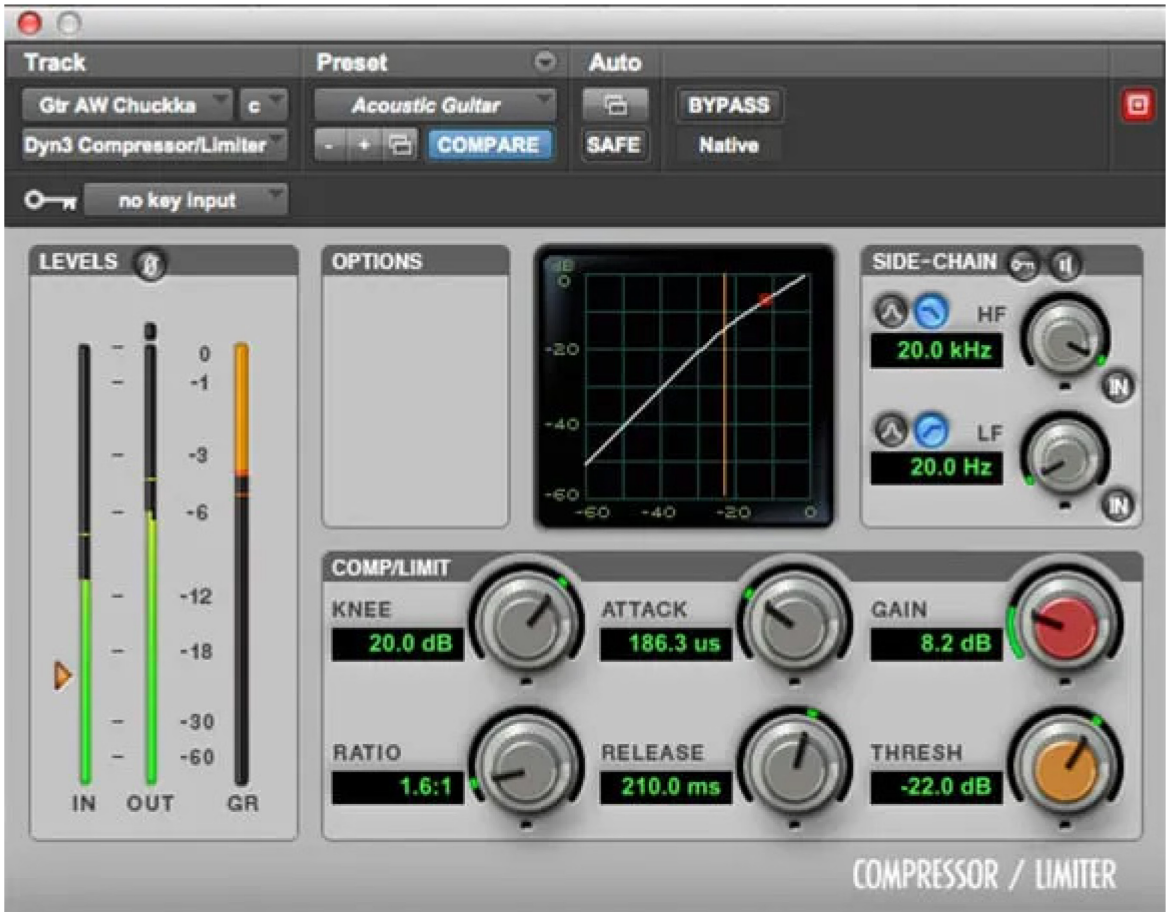
Další softwarový doplněk od firmy Brainworx emuluje hardware navržený roku 1978 ve studiu Town House, odkud pochází celý název Brainworx bx_townhouse Buss Compressor. Originální design obsahoval součástky dodávané firmou SSL a jednalo se o velmi prominentní zařízení, které ovlivnilo zvuk mnoha nahrávek z 80. let. Jedná se o ideální kompresor pro zpracování dynamiky celého zvukového mixu. Na předním panelu je možné nastavit prahovou hodnotu, výstupní hlasitost, kompresní poměr 2:1, 4:1 či 10:1 a časy „attack“ v šesti a „release“ v pěti variantách. (Plugin Alliance, LLC, 2024b)

Ovládání je oproti FabFilteru tedy zase velmi omezené.

Obrázek 22: Brainworx Townhouse Buss Compressor

10.6 Avid Dynamics III Compressor/Limiter

Je možné precizně volit kompresní poměr, prahovou hodnotu, časy „attack“ a „release“, nebo třeba křivku „knee“. (Avid Technology, Inc., ©2024a)



Obrázek 23: Avid Dynamics III Compressor/Limiter

10.7 Brainworx bx_console N

Dalším pluginem typu „channel strip“ je procesor inspirovaný konzolemi od firmy Neve.

Plugin dokáže emulovat 72 jednotlivých kanálů konzole, přičemž každý nabízí vlastní sonický charakter. Díky tomu je možné dosáhnout zvuku velkoformátových analogových konzolí Neve, pro které je (jako pro analog obecně) typické, že žádné dva kanály nezní zcela identicky. Zvukový charakter je plný, uhlazený, kulatý, čistý a muzikální i při extenzivní ekvalizaci. (Plugin Alliance, LLC, 2024a)

Obrázek 24: Brainworx Console N

10.8 Mäag Audio EQ4

Muzikální, nikoli chirurgický ekvalizér vhodný pro sběrnice a vytvarování charakteru vokálů. Madonna, Celine Dion, Justin Timberlake, Snoop Dogg nebo třeba Dave Pensado jsou jména, která jsou s použitím EQ4 spojena. Výjimečný design tohoto zařízení pracuje s minimálním posunem fáze a legendární AIR BAND® dodá jakémukoli zdrojovému zvuku vzdušnost. (Plugin Alliance, LLC, 2024c)

Obrázek 25: Mäag Audio EQ4

10.9 Shadow Hills Mastering Compressor

Emulace legendárního kusu vybavení, který je oblíbeným procesorem celkového zvukového mixu, díky čemuž byl použit např. na nahrávkách Radiohead nebo Foo Fighters. Chování optické sekce je zaručeno volitelným nastavením hradlové hodnoty a zesílení signálu po jeho zkomprimování. U optické sekce se nachází také dvoufázový čas „release“, který je typický pro další známy kompresor LA-2A. VCA část disponuje dalšími možnostmi nastavení, jako je kompresní poměr, nebo časy „attack“ a „release“. Kromě toho je možné vybrat ze tří zvukových projevů zařízení skrze emulování různých typů transformátorů. (Plugin Alliance, LLC, 2024d)

Obrázek 26: Shadow Hills Mastering Compressor

10.10 Acustica Audio Coffee The Pun

Ekvalizér ve stylu „Pultec“ s ovládáním dvou pásem a charakterem tranzistorů třídy A, který se vyznačuje saturací signálu harmonickými frekvencemi. (Acusticaudio s.r.l., b. r.)

Obrázek 27: Acustica Audio Coffee The Pun

11 ZVUKOVÉ VZORKY

Pro následný výzkum byly upraveny různými procesory následující zvukové vzorky. Nejdříve jsem vždy zvukovou stopu upravil pomocí pluginu emulujícího analogový hardware a stejné hodnoty pak navolil na srovnávaných pluginech.

11.1 Bicí souprava

Prvním zvukovým vzorkem je bicí souprava nahraná velmi jednoduchým způsobem na osm levných mikrofonů v domácím prostředí. Jedná se o primitivní rytmus, ve kterém absentují údery na Tom-tomy, mikrofony určené pro tyto přechodové bubny nejsou ve výsledném mixu použity. Pracoval jsem s následujícími zvukovými stopami, na kterých jsem provedl frekvenční úpravy pomocí tří různých softwarových ekvalizérů. U všech osmi stop jsem nastavil výstup do sběrnice, na kterou jsem nasadil kompresor. Zvolil jsem plugin Brainworx bx_townhouse Buss Compressor, který je určený právě k použití na sběrnicích.

Ekvalizéry použité na jednotlivé stopy bicí soupravy:

- Brainworx bx_console SSL 4000 E (vzorek „DRUMS A“)
- FabFilter Pro-Q 3 (vzorek „DRUMS B“)
- Avid EQ3 7-band (vzorek „DRUMS C“)

Kompresory použité na sběrnici:

- Brainworx bx_townhouse Buss Compressor (vzorek „DRUMS A“)
- FabFilter Pro-C 2 (vzorek „DRUMS B“)
- Avid Dyn3 Compressor/Limiter (vzorek „DRUMS C“)

11.1.1 Velký buben – mikrofon Audix D6 uvnitř

- HPF 40,6 Hz (18 dB/oktáva)
- +6 dB na 52 Hz, Q=1
- -6 dB na 803 Hz, Q=1,5
- +6 dB na 5 kHz, Q=1

11.1.2 Velký buben – mikrofon Rode NT1 před resonanční blánou

- HPF 41,6 Hz (18 dB/oktáva)

- +8,6 dB na 50,7 Hz, Q=1
- -9,7 dB na 502 Hz, Q=1,5
- LPF 1 kHz (12 dB/oktáva)

11.1.3 Malý buben – vrchní mikrofon Shure SM57

- HPF 70,6 dB (18 dB/oktáva)
- +3,7 dB na 163,8 Hz, Q=1
- -2,5 dB na 901 Hz, Q=1,5
- +3,2 dB na 2 kHz, Q=1,5
- +4,1 dB na 8 kHz, Q=1 (shelving filter)

11.1.4 Malý buben – spodní mikrofon Audix ADX51

- HPF 350 Hz (18 dB/oktáva)

11.1.5 Činely („overheads“) – stereo pár AKG C451 B

- -5,8 dB na 1 kHz, Q=1,5
- -4 dB na 8 kHz, Q=1 (shelving filter)

11.1.6 Sběrnice všech stop bicí soupravy

- Kompresní poměr 4:1
- Attack: 30 ms
- Release: 100 ms

U pluginu Brainworx bx_console SSL 4000E nelze nastavit hodnotu Q u ekvalizace nízkých a vysokých kmitočtů, proto jsem nechal v Pro-Q 3 a Avid EQ3 parametr Q na výchozí hodnotě Q=1.

Prahová hodnota kompresoru od firmy Brainworx se dá nastavit v rozmezí -20 až +10 dB. Pro-C a Avid Dyn3 lze nastavovat v rozmezí -60 až 0 dB. Aby kompresory zabíraly ve stejný moment, na Brainworx kompresoru byla prahová hodnota nastavena na -10 dB a u zbylých dvou kompresorů na -20 dB.

11.2 Elektrické kytary

Skupina elektrických kytar nahraných v profesionálním studiu na páskové mikrofony Royer R-121, Electro-Voice RE320 a Shure KSM27 skrz předzesilovače Universal Audio 6176, BAE 1073MP a AEA TRP.

Základní kytara byla nahrána na 3 aparáty, které byly nasnímány dohromady pomocí 9 mikrofonů. Pro účely této práce jsem ve zvukovém vzorku ponechal pouze 2 stopy základové kytary (kytara 1). Zbylé kytary byly nahrány na jeden aparát třemi mikrofony, nicméně v ukázce je vždy pouze jeden z těchto mikrofonů. Použil jsem pluginy Brainworx SSL 4000E, Pro-Q 3 a Avid EQ III.

11.2.1 Basová kytara

- HPF 60,2 Hz (18 dB/oktáva)
- -6 dB na 806 Hz, Q=1,5
- +3,7 dB na 1,6 kHz, Q=3
- +6,2 dB na 3,3 kHz, Q=1

11.2.2 Kytara 1 – aparát 1

- HPF 154 Hz (18 dB/oktáva)
- -5,3 dB na 803 Hz, Q=3
- +4.2 dB na 3,4 kHz, Q=1,5
- +2,1 dB na 6 kHz, Q=1
- LPF 10,1 kHz (12 dB/oktáva)

11.2.3 Kytara 1 – aparát 2

- HPF 155,2 Hz (18 dB/oktáva)
- -8,2 dB na 987 Hz, Q=1,5
- +5,1 dB na 2 kHz, Q=1,5
- +5,4 dB na 6 kHz, Q=1
- LPF 10,9 kHz (12 dB/oktáva)

11.2.4 Kytara 2 + kytara 3

- HPF 157,2 Hz (18 dB/oktáva)
- -6,5 dB na 1,5 kHz, Q=3
- +3,4 dB na 4 kHz, Q=1,5
- +2,2 dB na 6 kHz, Q=1
- LPF 10,5 kHz (12 dB/oktáva)

11.2.5 Kytara 4 + kytara 5

- HPF 150,6 Hz (18 dB/oktáva)
- -3,4 dB na 538 Hz, Q=1,5
- +4,1 dB na 3,4 kHz, Q=1,5
- +3,6 dB na 6 kHz, Q=1

11.3 Akustická kytara

Hudební motiv natočený v domácích podmínkách na jeden mikrofon Rode NT-1. Komparace pluginů Brainworx bx_console N, FabFilter Pro-Q 3 a Avid EQ3.

- HPF 71,5 Hz (12 dB/oktáva)
- +2,9 dB na 130,2 Hz, Q=1
- -7 dB na 297,2 Hz, Q=6
- +1 dB na 7 kHz, Q=1,5
- +3,3 dB na 10 kHz, Q=1 (shelving filter)

11.4 Virtuální klávesové nástroje a syntezátory

Pro tuto skupinu nástrojů byl použit software Mäag Audio EQ4 a byl porovnán znovu s ekvalizéry Pro-Q 3 a Avid EQ III.

11.4.1 Rhodes

- +1,5 dB na 650 Hz
- +3 dB na 2,5 kHz (shelving filter)

11.4.2 Syntezátor

- +2 dB na 160 Hz
- +6 dB na 5 kHz (shelving filter)

11.5 Master

Pracoval jsem se stereo nahrávkou, kterou jsem smíchal pomocí škály pluginů ať už těch simulujících analogové procesory, tak těch, u kterých jsem očekával lineární chování. Píseň byla smíchána z více jak sto stop, které byly téměř bez výjimky upraveny alespoň jedním pluginem. Ve výsledném charakteru se projevily všechny vlastnosti použitých pluginů a pokud bychom měli možnost srovnat tuto nahrávku smíchanou pouze pomocí pluginů emulujících analogové zařízení s verzí smíchanou pouze pomocí lineárního softwaru, bezesporu by byl mezi oběma verzemi velký rozdíl. Pro potřeby tohoto experimentu ale srovnávám pouze úpravy na hotovém mixu, tento proces by se dal označit jako mastering. Při srovnání masteru vznikly pouze dva vzorky (A, B) a navolit stejné parametry bylo oproti ostatním ukázkám nejtěžší. První vzorek (A) jsem zpracoval masteringovým kompresorem Shadow Hills, který se skládá ze dvou kompresních okruhů. První je postaven na architektuře optického článku, druhý vychází z VCA architektury. V rámci jednoho pluginu je tedy možné navolit dvě stádia komprese, což není zcela typická funkce. Kvůli této skutečnosti jsem musel použít dvě instance kompresoru od firmy FabFilter, přičemž v první jsem se snažil dosáhnout charakteru optické komprese, který produkoval plugin Shadow Hills. Vzhledem k rozdílnostem v ovládacích prvcích jsem nemohl na obou softwarech navolit stejné parametry (jako v případě předchozích srovnání) a snažil jsem se výstupní charakter Pro-C 2 co nejvíce přiblížit charakteru Shadow Hills pouze podle sluchu a redukce zobrazené na virtuálních měřácích. Ve druhé instanci jsem stejný postup uplatnil při snaze dosáhnout charakteru VCA kompresoru. Po redukci dynamického rozsahu zvukového mixu jsem jej decentně vytvaroval pomocí ekvalizéru Coffee The Pun od firmy Acustica, proti němuž stál FabFilter Pro-Q 3. V obou vzorcích jsem na konec řetězce s totožným nastavením nasadil limiter FabFilter Pro-L, který ale na průchozí signál nereagoval, jelikož ten nepřesáhl hradlovou hodnotu. Limiter jsem použil, abych měl jistotu, že nedojde ke zkreslení z důvodu překročení maximálního dynamického rozsahu systému, čímž by došlo ke „clippingu“.

11.5.1 Shadow Hills Mastering Compressor

- Dual mono

- Optical Threshold: 6
- Optical Gain: 7
- Discrete Threshold: 7
- Discrete Attack: 30 (ms)
- Discrete Ratio: 2
- Discrete Recover: .1 (100 ms)
- Discrete Gain: 10

11.5.2 Acustica Audio Coffee The Pun

- Low Cut Freq.: 150 (Hz)
- Cut: 2
- Low Boost Freq.: 35 (Hz)
- Boost: 1,5
- Hi Frequency: 20k (Hz)
- Gain: 2
- Q: shelving filter (pozice vpravo)

11.5.3 FabFilter Pro-C 2

První instance:

- Style: Opto
- Threshold: -4,06 dB
- Ratio: 2
- Attack: 10,21 ms
- Release: Auto (30,9%)

Druhá instance:

- Style: Clean
- Threshold: -7,43 dB
- Ratio: 2

- Attack: 30 ms
- Release: 100 ms
- Gain: +2,67 dB

11.5.4 FabFilter Pro-Q 3

- +1,5 dB na 35 Hz, Q=1 (shelving filter)
- -2 dB na 150 Hz, Q=1
- +2 dB na 20 kHz, Q=1 (shelving filter)

12 ANALÝZA

Vytvořené zvukové vzorky jsem následně analyzoval dvěma způsoby.

12.1 Metoda null

Princip metody stojí na prostém odečtení dvou signálů. Pokud vezmeme jakýkoli průběh, vytvoříme jeho kopii a na jednom z nich otočíme polaritu o 180 stupňů, jejich součet bude nulový a na výstupu žádný signál nebude naměřen. Pokud od sebe takto odečteme dva různé signály, na výstupu dostaneme jejich rozdíl. Tato metoda je pro porovnávání dvou téměř totožných signálů vhodná, jelikož dokáže efektivně zobrazit právě jemné nuance mezi těmito signály. (Luther, 2016)

U plug-inů bez emulace (vzorky „B“ a „C“) se očekává lineární chování a tyto vzorky by se teoreticky měly po otočení polarity fáze u jednoho z nich vzájemně vynulovat. U pluginů se simulací analogového obvodu očekávám nárůst harmonického zkreslení, snížení dynamického rozsahu a nepatrné zvýšení vnímatelné hlasitosti na základě těchto dvou průvodních jevů. Díky tomu by součet s jedním z prvních dvou vzorků neměl po otočení polarity tohoto vzorku být nulový. Tímto by se dokázalo, že plug-in s emulací analogového obvodu vykazuje nelineární chování.

12.1.1 Srovnání rozdílů při otočení polarity

Překvapivým zjištěním pro mě bylo, že při otočení polarity fáze na vzorku „B“, který byl nasměrován do stejného výstupu jako vzorek „C“, nedošlo k absolutnímu odečtení signálu. Z toho jednoznačně plyne, že ani pluginy, které se prezentují jako lineární, jimi stoprocentně nejsou. Tedy minimálně v případě mnou vybraných, testovaných pluginů.

Na výstupu, do kterého jsem nasměroval vzorky akustické kytary (u kterých jsem subjektivně neslyšel rozdíl) „B“ a „C“, jsem naměřil -17 LUFS, po otočení polarity na jednom ze vzorků pouze -51,6 LUFS. Rozdíl je to sice velký, nicméně předpokládal jsem naprosté odečtení těchto dvou signálů. Dá se tedy říct, že oba vzorky jsou si velmi podobné.

Když jsem stejný postup uskutečnil při porovnání vzorku „A“ se vzorky „B“ a „C“, naměřil jsem následující hodnoty:

- A+B = -17,2 LUFS
- A-B = -38,7 LUFS
- A+C = -17,3 LUFS

- A-C = -37,8 LUFS

Z naměřených hodnot v případě tří vzorků akustické kytary lze konstatovat, že rozdílnost vzorku „A“ (emulace analogu) oproti vzorkům „B“ a „C“ je relativně velká. Tento závěr jsem ověřil ještě na vzorcích bicí soupravy, kde jsem subjektivně vnímal mezi vzorky rozdíly největší a naměřil jsem následující hodnoty:

- A+B = -18,7 LUFS
- A-B = -26,9 LUFS
- A+C = -18,1 LUFS
- A-C = -25,1 LUFS
- B+C = -17,7 LUFS
- B-C = -32,5 LUFS

Naměřené hodnoty potvrzují, že rozdíl mezi vzorky „B“ a „C“ je menší, než rozdíl mezi „A“ a „B“, nebo mezi „A“ a „C“.

Z těchto hodnot vyvozuji, že použití pluginů simulujících hardwarové analogové jednotky skutečně signál ovlivňuje ve větší míře než použití pluginů s teoretickým lineárním chováním.

12.2 Bertom Audio EQ Curve Analyzer

Chování použitých pluginů jsem chtěl vizuálně prozkoumat i ve vztahu k frekvenční odezvě, respektive k rozdílu zadaných parametrů u ekvalizérů a skutečného tvaru filtrů. K měření jsem použil software Bertom Audio EQ Curve Analyzer, který funguje jednoduchým způsobem.

Na začátek řetězce je potřeba umístit jednu instanci tohoto pluginu, která funguje jako generátor signálu. Druhá instance se nachází na konci signálového řetězce a slouží k zobrazení ekvalizační křivky nastavené procesory mezi oběma instancemi. (Bertom Audio, ©2020-2023)

Jedná se ve své podstatě o testování způsobem „black box“, tedy o stejný princip, který slouží k vývoji analogových emulací.

Výše naměřené hodnoty hlasitosti vizuálně potvrdilo i přeměření frekvenční odezvy použitých ekvalizérů. Mezi FabFilter Pro-Q3 a Avid EQ III byl viditelný pouze nepatrný rozdíl ve tvaru filtrů, což souvisí s nedokonalým odečtením vzorků „B“ a „C“.

Obrázek 28: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru Pro-Q 3

Obrázek 29: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru EQ III

Naopak při zobrazení frekvenční odezvy ekvalizéru Brainworx SSL 4000E je na první pohled jasné, že zadané parametry neodpovídají skutečnému tvaru filtrů. Při zesílení 1 kHz ekvalizérem Brainworx SSL 4000E se největší zisk objevuje kolem 600 Hz, kde ale zesílení nedosahuje zadaných 6 dB, pouze cca 4,5 dB. Na kýženém 1 kHz byl signál zesílen pouze zhruba o 3 dB.

Obrázek 30: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru SSL 4000E

Podobné rozdíly jsem naměřil při srovnání ekvalizéru Acustica Audio Coffee The Pun a FabFilter Pro-Q 3. Výsledná křivka má velmi rozdílný tvar. Vzhledem k neznámé hodnotě „Q“ v případě pluginu Coffee The Pun jsem ji při zadávání do FabFilter Pro-Q 3 nechal na hodnotě 1.

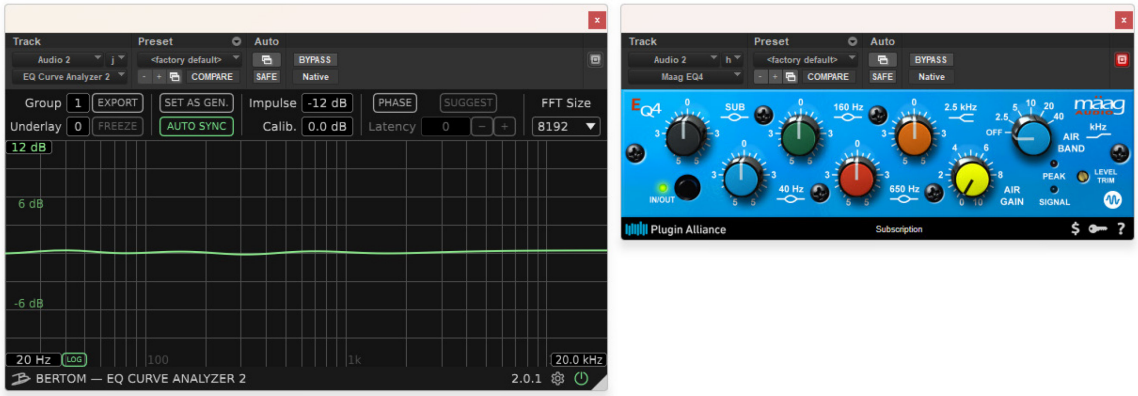
Obrázek 31: frekvenční odezva ekvalizéru Coffee The Pun po zadání parametrů

Obrázek 32: frekvenční odezva ekvalizéru FabFilter Pro-Q 3 po zadání parametrů

Při vypnutí jednotlivých filtrů se ekvalizéry FabFilter Pro-Q 3 a Avid EQ III chovaly dle očekávání neutrálně.

Obrázek 33: frekvenční odezva FabFilter Pro-Q 3 při vypnutí jednotlivých filtrů

Nelineární frekvenční odezvu vykazovaly některé z použitých pluginů. Konkrétní příklad je zobrazen v případě pluginů SSL 4000E a Mäag Audio EQ4.



Obrázek 34: frekvenční odezva Mäag Audio EQ4 při vypnutí jednotlivých filtrů

Obrázek 35: frekvenční odezva SSL 4000E při vypnutí jednotlivých filtrů

Obrázek 36: frekvenční odezva SSL 4000 E při vypnutí jednotlivých filtrů a maximálních hodnotách V Gain a THD

U pluginu Brainworx SSL 4000E je možné sledovat relativně velkou míru nelineárního chování. Ve výchozím nastavení (obr. 35) je frekvenční odezva v čase proměnlivá, probíhá zde intermodulační zkreslení. Při navýšení parametrů „V Gain“ a „THD“ na maximální hodnoty se míra zkreslení násobně zvětší (obr. 36). Pro větší míru saturace je možné použít potenciometr vstupního zisku, nebo do pluginu poslat silnější signál. Při opačném postupu se míra zkreslení zásadně snižuje (obr. 37), nicméně frekvenční odezva stále není lineární.

Obrázek 37: frekvenční odezva SSL 4000 E při vypnutí jednotlivých filtrů a minimálních hodnotách V Gain a THD

13 DOTAZNÍK

Druhou výzkumnou otázkou, kterou jsem si kladl, bylo to, zda zvukový charakter pluginů emulujících analogové zařízení bude lidmi vnímán prokazatelně pozitivněji ve srovnání s pluginy, které analogové chování nesimulují. Z tohoto důvodu jsem bez upřesnění, co zkoumám, vytvořil dotazník, ve kterém jsem respondenty požádal o zvolení vždy toho zvukového vzorku, který vnímají subjektivně nejlépe. Respondenti tedy z každé skupiny vzorků (bicí souprava, elektrické kytary, akustická kytara, virtuální klávesové nástroje a syntezátory, master) vybrali tu možnost A, B, nebo C, která se jim nejvíce líbila. Nebyly pro mě důležité důvody, proč tuto verzi hodnotí nejlépe. Chtěl jsem pouze zjistit, zda bude z výsledků možné vyvodit, že vzorky upravené pomocí procesorů se simulací analogu budou statisticky vybírány nejčastěji. Zároveň jsem respondenty požádal, aby poslechový test prováděli na reprodukčním zařízení, které běžně používají. Dotazník byl vytvořen pomocí služby Google Formuláře a distribuován mezi lidi z různých sociálních a kulturních kontextů a věkových skupin. Vyplňovali jej lidé mladší i starší, studenti, učitelé, hudební nadšenci i profesionálové, lidé z Česka i ze zahraničí. Vyplnění dotazníku různými lidmi pro mě bylo důležité z hlediska výpovědní hodnoty výsledků. Nechtěl jsem cílit pouze na jednu skupinu lidí, jejich vztah k poslechu hudby, nebo jen staří, by se mohly promítnout do výsledných dat.

S některými respondenty jsem dotazník po jeho uzavření diskutoval a bylo zajímavé, jaké množství různých pocitů se podařilo v lidech vyvolat. Opakoval se názor, že mezi vzorky byl rozdíl spíše cítit než slyšet, což jsem rozhodně přijal pozitivně, nicméně mě toto tvrzení příliš nepřekvapilo. Relativně často také respondenti zmiňovali, že měli větší potíže mezi vzorky rozdíl vůbec vnímat. S touto možností jsem předem počítal, a i proto byla jednou z možných voleb u všech skupin zvukových vzorků.

13.1 Zadání dotazníku

Respondenti odpovídali na 5 otázek, přičemž každá z nich obsahovala poslechový test verzí jedné skupiny zvukových vzorků popsaných v kapitole 11. Vzorky „A“ byly vždy ty, k jejichž úpravě jsem použil pluginy emulující analog. Vzorky „B“ a „C“ byly upraveny s totožným nastavením, nicméně pluginy bez analogové simulace. V případě vzorku „Master“ vznikly pouze dvě verze („A“ a „B“). Dalším specifikem u této zvukové ukázky bylo to, že u obou verzí nebylo vzhledem k ovládacím prvkům pluginů možné nastavit stejné parametry. Postupoval jsem tedy tak, že jsem stereo mix upravil pomocí pluginů emulujících

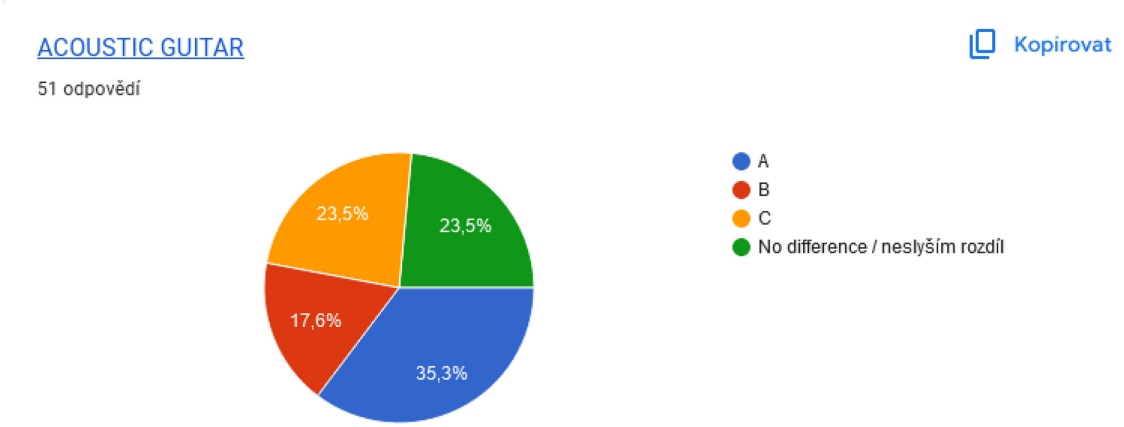
analogové zařízení a poté se snažil stejný zvukový charakter nastavit na pluginech bez emulace. Vodítkem mi kromě sluchu byly měřáky ukazující míru komprese a dostupné informace k chování analogových procesorů.

Dotazník je dostupný na tomto odkaze: https://forms.gle/haHRxPMybqmkA9rGA

13.2 Výsledky dotazníku

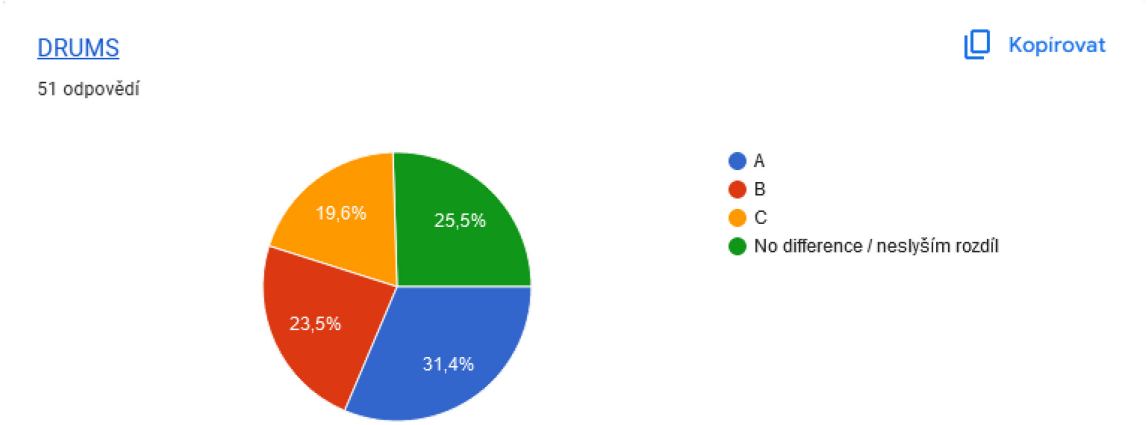
V čase psaní této práce se podařilo získat odpovědi 51 respondentů, nicméně šetření zůstává dále otevřené a je možné zaznamenávat další odpovědi.

U čtyřech z pěti skupin zvukových vzorků zvítězila možnost „A“. V případě Masteru šlo o velmi těsné vítězství vzorku „B“. Celkově ale respondenti jednoznačně, i s ohledem na procentuální poměry, preferovali vzorky „A“, které byly upravené pluginy emulujícími analog.



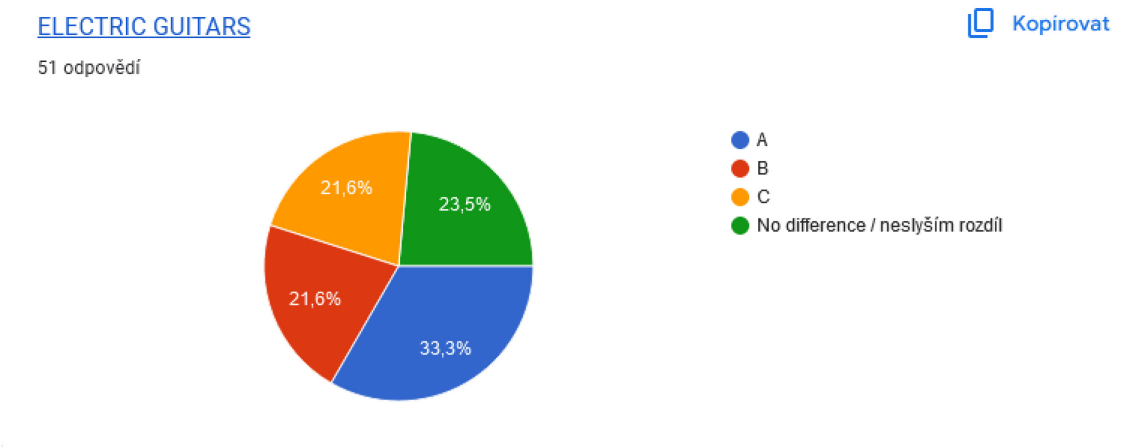
Obrázek 38: preference vzorků akustické kytary

V případě vzorku s nahrávkou akustické kytary vyhrála možnost „A“ a to s relativně velkým odstupem od ostatních možností, v celkovém součtu ji vybrala více než třetina respondentů. Tento výsledek mě překvapil, jelikož jsem měl u této skupiny největší problém slyšet mezi jednotlivými možnostmi rozdíl.



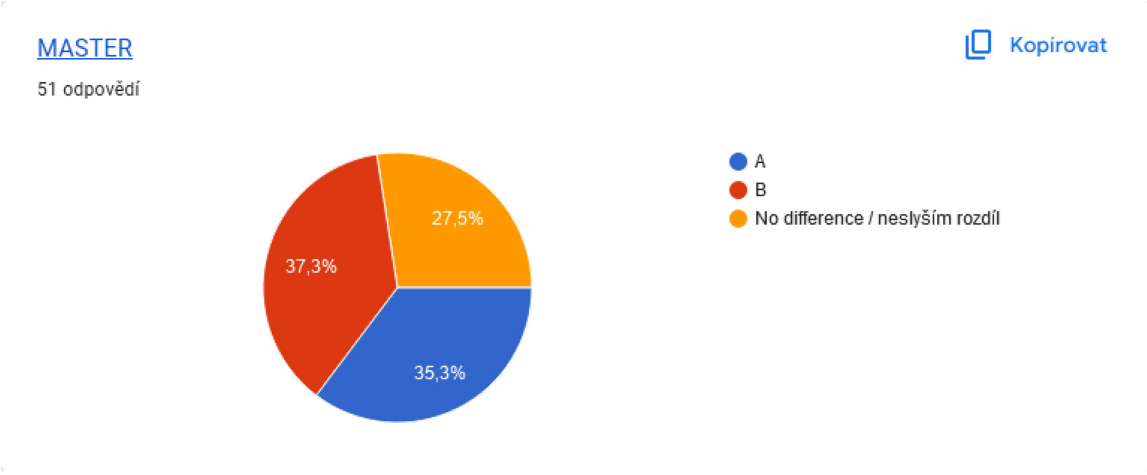
Obrázek 39: preference vzorků bicí soupravy

Naopak u nahrávky bicí soupravy jsem poměr hlasů pro možnost „A“ čekal vyšší, zde jsem subjektivně vnímal rozdíl mezi možností „A“ a možnostmi „B“ a „C“ největší. I tak zde vzorek „A“ získal bezmála třetinu hlasů.



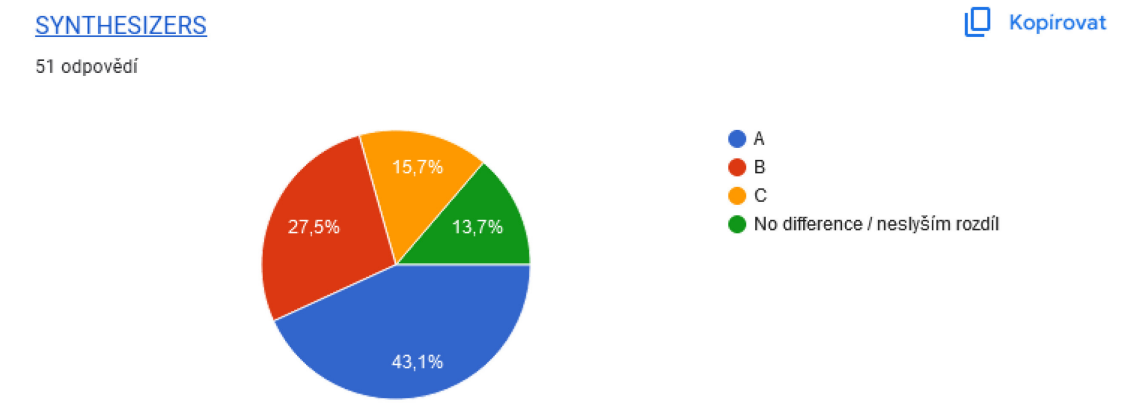
Obrázek 40: preference vzorků elektrických kytar

Stejný počet hlasů u skupiny elektrických kytar získaly možnosti „B“ a „C“, což by mohlo odpovídat tomu, že se pluginy Pro-Q 3 a EQ III chovají téměř stejně. Možnost „A“ v tomto případě získala přesně třetinu hlasů. Tato skupina vzorků je specifická tím, že jednotlivé stopy byly natočeny přes analogový hardware, tudíž výchozí analogovou barvu měly všechny tři možnosti.



Obrázek 41: preference vzorků stereo nahrávky

O dvě procenta, tzn. o jeden hlas u stereo nahrávky zvítězila možnost „B“, která byla upravena pluginy FabFilter Pro-Q 3 a FabFilter Pro-C 2. Rozdíl mezi oběma možnostmi byl způsobený bezesporu nemožností obě varianty upravit se stejným nastavením (viz. Kapitola 11.5). Jedná se tak o jedinou z pěti otázek, u které zvítězila verze zprocesovaná pluginy bez emulace analogu.



Obrázek 42: preference vzorků syntezátorů

Přes 40% získal vzorek upravený pomocí pluginu simulujícího analogový ekvalizér. Zde bych výhru přikládal i vyšší hlasitosti, která je vedlejším produktem použitého pluginu.

14 ZÁVĚR

V teoretické části práce byl popsán rozdíl mezi softwarovými doplňky pro zvukovou postprodukci emulujícími vlastnosti analogového hardwaru a těmi bez emulace. Díky pochopení chování analogových a diskrétních signálů v rámci obou domén jsem byl schopen tyto principy nalézt i ve virtuálním prostředí a sledovat toto chování u každého popisovaného pluginu. Teoretická část osvětluje tři základní druhy workflow hudebních nahrávacích studií (analogová, digitální, hybridní), díky čemuž je možné vysvětlit existenci softwarových doplňků emulujících analogový hardware v kontextu ekonomických a kulturních hledisek produkce hudebních nahrávek v roce 2024. Dvě metody vývoje pluginů emulujících analogové zvukové procesory taktéž popisuji v teoretické části práce.

Pomocí analýzy se podařilo dokázat, že vybrané pluginy emulující analogová zařízení vykazují nelineární chování a od pluginů bez emulace se jednoznačně liší nejen vizuálně. Přesto, že není možné s naprostou jistotou říct, že vybrané pluginy přesně emulují jejich analogové, fyzické předlohy, dovolím si na základě měření v analytické části práce tvrdit, že pluginy vykazují chování typické pro tato analogová zařízení. Nicméně ani v rámci porovnávání dvou analogových zařízení stejného typu bychom nenaměřili naprosto shodné hodnoty. Překvapivým zjištěním byl rozdíl ve frekvenční odezvě dvou pluginů, u kterých se očekávala naprostá linearity ve smyslu zadaných parametrů a výsledné odezvy. Naopak v případě softwaru emulujícího analogový obvod byla naměřena očekávaná nelinearita a intermodulační zkreslení.

Podařilo se také zjistit, že v 80% případů respondenti preferovali zvukové vzorky upravené pluginy emulujícími analogové procesory a ve zbylých 20% byla preference pouze o jeden hlas ve prospěch pluginů, které nesimulují chování analogu. Výsledek dotazníkového šetření by mohl vypovídat o preferenci běžného posluchače směrem ke zvukovým kvalitám analogového vybavení, nebo minimálně jeho virtuálních emulací.

Softwarové doplňky simulující analogové zvukové zařízení mají na trhu jistě své místo a vzhledem k vývoji hudebního průmyslu, který by se dal v dnešní době charakterizovat primárně přesunem do domácího, nekomerčního prostředí, bude takových pluginů v budoucnu pravděpodobně přibývat. Jedná se o způsob, kterým mohou domácí producenti a hudebníci dodat svým nahrávkám zvukový charakter, který byl dříve dosažitelný pouze v profesionálních podmínkách.

Výsledky této práce mě utvrdily v tom, že vybrané pluginy jsou cennými nástroji pro mix a mastering hudebních nahrávek a budu v jejich používání nadále pokračovat. Nedá se však dogmaticky říct, že jsou lepší než pluginy s více lineárním chováním. Každý nástroj je vhodný na určitý typ úkonu. Pluginy emulující analog nabízí širokou paletu barev, kterými můžeme nahrávkám vdechnout život. K chirurgičtějším zásahům a řešení chyb v nahraném materiálu jsou ale vzhledem k množství funkcí a flexibilitě vhodnější pluginy jako např. FabFilter, kterými lze adresovat s vysokou přesností problémová pásma.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

A brief history of the DAW, or Digital Audio Workstation, 2023. Online. Mixdown Magazine. Dostupné z: https://mixdownmag.com.au/features/a-brief-history-of-the-daw-or-digital-audio-workstation/. [cit. 2024-04-08].

ABBEY ROAD INSTITUTE AMSTERDAM, 2017. *SSL – E and G series EQ*. Online. Abbey Road Institute. Dostupné z: https://abbeyroadinstitute.nl/blog/ssl-e-g-series-eq/. [cit. 2024-04-09].

ACUSTICAUDIO S.R.L., b. r. *Coffee The Pun*. Online. Acustica Audio. Dostupné z: https://www.acustica-audio.com/shop/products/COFFEEFREE. [cit. 2024-04-09].

AGNEW, J. I., January 24, 2020. Vacuum Tubes: A Brief History. Online. *Copper Magazine*. Č. 103. Dostupné z: https://www.psaudio.com/blogs/copper/vacuum-tubes-a-brief-history. [cit. 2024-04-09].

AGNEW, J. I., March 6, 2020. Linearity in Audio, Part One. Online. *Copper Magazine*. Č. 106. Dostupné z: https://www.psaudio.com/blogs/copper/linearity-in-audio-part-one. [cit. 2024-04-09].

Alikvotní tón, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 7. 3. 2024. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Alikvotn%C3%AD_t%C3%B3n. [cit. 2024-04-08].

AUDIODELUXE, ©2024. *Shop Audio Plugins*. Online. AudioDeluxe. Dostupné z: https://www.audiodeluxe.com/category/audio-plug-ins?solrsort=fs_field_popularity%20desc. [cit. 2024-04-09].

AVID TECHNOLOGY, INC., ©2024a. *Dynamics III*. Online. Avid Technology. Dostupné z: https://www.avid.com/plugins/dynamics-iii. [cit. 2024-04-09].

AVID TECHNOLOGY, INC., ©2024b. *EQ III*. Online. Avid Technology. Dostupné z: https://www.avid.com/plugins/eq-iii. [cit. 2024-04-09].

AVID TECHNOLOGY, INC., 2023. *How to Mix Music: A Complete Guide to Audio Mixing*. Online. Avid Technology - Solutions that empower media creators. Dostupné z: https://www.avid.com/resource-center/how-to-mix-music. [cit. 2024-04-07].

BERTOM AUDIO, ©2020-2023. *EQ Curve Analyzer*. Online. Bertom Audio. Dostupné z: https://bertomaudio.com/eq-curve-analyzer.html. [cit. 2024-04-10].

Black box, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 8 April 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Black_box. [cit. 2024-04-09].

BROWN, Griffin, 2021. *Digital Audio Basics: Audio Sample Rate and Bit Depth*. Online. NATIVE INSTRUMENTS USA, INC. IZotope. Dostupné z: https://www.izotope.com/en/learn/digital-audio-basics-sample-rate-and-bit-depth.html. [cit. 2024-04-08].

Bx_console SSL 4000 E Plugin Manual. Online, PDF. Dostupné z: https://files.plugin-alliance.com/products/bx_console_ssl_4000_e/bx_console_ssl_4000_e_manual.pdf. [cit. 2024-04-09].

Clipping (zvuk), 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 5. 10. 2023. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Clipping_(zvuk). [cit. 2024-04-08].

Co je to plugin?, ©2008-2024. Online. IT-Slovník.cz. Dostupné z: https://it-slovnik.cz/pojem/plugin/?utm_source=cp&utm_medium=link&utm_campaign=cp. [cit. 2024-04-08].

Comparison of analog and digital recording, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 8 February 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_analog_and_digital_recording. [cit. 2024-04-08].

Distortion, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 7 April 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Distortion. [cit. 2024-04-08].

FABFILTER, ©2002-2024a. *FabFilter Pro-C 2*. Online. FabFilter. Dostupné z: https://www.fabfilter.com/products/pro-c-2-compressor-plug-in. [cit. 2024-04-09].

FABFILTER, ©2002-2024b. *FabFilter Pro-Q 3*. Online. FabFilter. Dostupné z: https://www.fabfilter.com/products/pro-q-3-equalizer-plug-in. [cit. 2024-04-09].

HAHN, Michael, 2024. *Channel Strip Plugins: The 8 Best All-in-one Mixing Channels*. Online. LANDR Blog. Dostupné z: https://blog.landr.com/channel-strip-plugins/. [cit. 2024-04-07].

HOUGHTON, Matt, 2010. *Hardware In The Software Studio*. Online. Sound On Sound. Dostupné z: https://www.soundonsound.com/techniques/hardware-software-studio. [cit. 2024-04-08].

How analog emulation works? What is the difference between digital and analog hardware synthesizer? [@Eplex7 DSP], 2021. Online. 9. 2. 2021. Dostupné z: YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=3Y9knqeRzHU. [cit. 2024-04-09].

LAMBERT, Mel, 2010. *Plug-in Modelling: How Industry Experts Do It*. Online. Sound On Sound. Dostupné z: https://www.soundonsound.com/techniques/plug-in-modelling-how-industry-experts-do-it. [cit. 2024-04-09].

Linear system, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 29 March 2023. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_system. [cit. 2024-04-09].

LLOYD, Greg, b. r. *Clipping in the Analog vs. Digital Domain*. Online. DIY Music Guide. Dostupné z: https://www.diy-music-guide.com/articles/clipping-in-the-analog-vs-digital-domain. [cit. 2024-04-08].

LUTHER, Christian, 2016. *About This Null Test Business*. Online. The Science of Sound. Dostupné z: https://science-of-sound.net/2016/06/null-test-business/. [cit. 2024-04-10].

Magnetic recording, ©2024. Online. ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, INC. Encyclopedia Britannica. Dostupné z: https://www.britannica.com/technology/magnetic-recording. [cit. 2024-04-07].

MASTERCLASS, ©2024a. *Music 101: What Is an Equalizer? Plus: Best Equalizer Settings for Drums and Guitar*. Online. MasterClass. 2021. Dostupné z: https://www.masterclass.com/articles/music-101-what-is-an-equalizer-plus-best-equalizer-settings-for-drums-and-guitar. [cit. 2024-04-07].

MASTERCLASS, ©2024b. *What Is a DAW? A Guide to Digital Audio Workstations*. Online. MasterClass. 2021. Dostupné z: https://www.masterclass.com/articles/what-is-a-daw. [cit. 2024-04-08].

MENDELSON, Richard, 2022. *Mixing Music: What is Sound Mixing?* Online. BERKLEE COLLEGE OF MUSIC. Berklee Online. Dostupné z: https://online.berklee.edu/takenote/mixing-music-what-is-sound-audio-mixing/. [cit. 2024-04-07].

MONOLITHIC POWER SYSTEMS, INC., ©2024. *Analog Signals vs. Digital Signals*. Online. Monolithic Power Systems. Dostupné z: https://www.monolithicpower.com/en/analog-vs-digital-signal. [cit. 2024-04-08].

MUCH, Vera, 2021. *How do analog emulation plugins work?* Online. Splice Blog. Dostupné z: https://splice.com/blog/how-analog-emulation-plugins-work/. [cit. 2024-04-09].

Nyquist Theorem, ©2024. Online. ELSEVIER B.V. ScienceDirect. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/nyquist-theorem. [cit. 2024-04-07].

Phonograph, ©2024. Online. ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, INC. Encyclopedia Britannica. Dostupné z: https://www.britannica.com/technology/phonograph. [cit. 2024-04-07].

PLUGIN ALLIANCE, LLC, 2024a. *Brainworx bx_console N*. Online. Plugin Alliance. Dostupné z: https://www.plugin-alliance.com/en/products/bx_console_n.html. [cit. 2024-04-09].

PLUGIN ALLIANCE, LLC, 2024b. *Brainworx bx_townhouse Buss Compressor*. Online. Plugin Alliance. Dostupné z: https://www.plugin-alliance.com/en/products/bx_townhouse_buss_compressor.html. [cit. 2024-04-09].

PLUGIN ALLIANCE, LLC, 2024c. *Mäag Audio EQ4*. Online. Plugin Alliance. Dostupné z: https://www.plugin-alliance.com/en/products/maag_eq4.html. [cit. 2024-04-09].

PLUGIN ALLIANCE, LLC, 2024d. *Shadow Hills Mastering Compressor*. Online. Plugin Alliance. Dostupné z: https://www.plugin-alliance.com/en/products/shadow_hills_mastering_compressor.html. [cit. 2024-04-09].

PLUGIN ALLIANCE, LLC, 2024e. *Brainworx bx_console SSL 4000 E*. Online. Plugin Alliance. Dostupné z: https://www.plugin-alliance.com/en/products/bx_console_ssl_4000_e.html. [cit. 2024-04-09].

Plugin, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 6. 9. 2023. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Plugin. [cit. 2024-04-08].

ROBJOHNS, Hugh, 1997. *Anatomy Of A Mixer*. Online. Sound On Sound. Dostupné z: https://www.soundonsound.com/sound-advice/anatomy-mixer. [cit. 2024-04-07].

RUBIN, Rick, 2023. Temporary Rules. In: *The Creative Act: A Way of Being*. Canongate Books, s. 207-211. ISBN 9781838858636.

SOLID STATE LOGIC, ©2024a. *SSL 4K E*. Online. Solid State Logic. Dostupné z: https://store.solidstatelogic.com/plug-ins/ssl-4k-e. [cit. 2024-04-09].

SOLID STATE LOGIC, ©2024b. *Stereo Bus Compressor Module*. Online. Solid State Logic. Dostupné z: https://solidstatelogic.com/products/stereo-bus-compressor-module. [cit. 2024-04-09].

Stochastika, 2023. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 23. 8. 2023. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Stochastika. [cit. 2024-04-09].

SWEETWATER SOUND, ©2024. *Plug-ins: Virtual Processors*. Online. Sweetwater. Dostupné z: https://www.sweetwater.com/shop/software-plugins/virtual-processors/. [cit. 2024-04-09].

SWEETWATER SOUND, 2007. *Mixing Console*. Online. Sweetwater. Dostupné z: https://www.sweetwater.com/insync/mixing-console/. [cit. 2024-04-07].

Total harmonic distortion, 2024. Online. In: Wikipedia: the free encyclopedia. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 28 March 2024. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion. [cit. 2024-04-08].

UNIVERSAL AUDIO, INC., [2024]. *Audio Compression Basics*. Online. Universal Audio. Dostupné z: https://www.uaudio.com/blog/audio-compression-basics/. [cit. 2024-04-07].

WAVES AUDIO LTD., 2023. *Analog vs. Digital Distortion in Music Production*. Online. Waves Audio. Dostupné z: https://www.waves.com/analog-vs-digital-distortion-music-production. [cit. 2024-04-08].

WHITE, Paul, 2001. *What Is An Equaliser?* Online. Sound On Sound. Dostupné z: https://www.soundonsound.com/techniques/what-equaliser. [cit. 2024-04-07].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LUFS Loudness Units Full Scale – jednotka hlasitosti

dB Decibel – jednotka hlasitosti

Hz Herz – jednotka frekvence

THD Total Harmonic Distortion – celkové harmonické zkreslení

EQ Ekvalizér

mV Milivolt

DSP Digitální signálový procesor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Rupert Neve a konzole 5088 17

dostupné z: https://vintageking.com/blog/2019/01/rupert-neve-designs-5088-recording-console

Obrázek 2: externí zvukové procesory 18

dostupné z: https://twitter.com/UAudio/status/950424749242441728/photo/1

Obrázek 3: parametrický ekvalizér SSL E-Series EQ 19

dostupné z: https://solidstatelogic.com/assets/uploads/images/E_EQ_Facelift_500_series_module_Front.jpg

Obrázek 4: grafický ekvalizér dbx iEQ-31 20

dostupné z: https://adn.harmanpro.com/product_attachments/product_attachments/605_1412965852/iEQ31front_lg_original.jpg

Obrázek 5: lampový kompresor Fairchild 670 21

dostupné z: https://vintageking.com/media/catalog/product/f/a/fairchild-670-stereo-compressor-limiter-310-vintage_101524_1.jpg

Obrázek 6: kompresor Teletronix LA-2A 22

dostupné z: https://www.retrosonicproaudio.com/retrosonic-future/images/products/teletronix-la-2a-leveling-amplifier-revision-2b-1187-vintage-original-1960s-5.jpg

Obrázek 7: FET kompresor Urei 1176 23

dostupné z: https://makenoiseproaudio.co.uk/cdn/shop/products/image_532e5d46-0242-4800-92d5-067d176325ae.jpg?v=1647556788&width=1946

Obrázek 8: Solid State Logic G Series Bus Compressor 24

dostupné z: https://www.retrosonic.shop/retrosonic-future/images/products/ssl-bus-compressor-1.jpg

Obrázek 9: channel strip Rupert Neve Designs Shelford Channel 25

dostupné z: https://digitalaudioservice.de/media/b0/00/9d/1700844175/rupert-neve-designs-shelford-channel-02.jpg

Obrázek 10: magnetofon Studer A 827 27

dostupné z: https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5fa4357fdc893d349e982b94/1611777488173-QPS9X9RBJU4U27HUSHB8/Studer+A-827+multi-track

Obrázek 11: dvojice převodníků Apogee Symphony 29

dostupné z: https://www.audiotechnology.com/wp-content/uploads/2014/06/Apogee-Symphony_MAIN-pichi.jpg

Obrázek 12: Digidesign Sound Tools 30

dostupné z: https://hub.yamaha.com/wp-content/uploads/2019/04/Digidesign-Sound-Tools.jpg

Obrázek 13: převod analogového signálu na diskrétní 34

dostupné z: https://woodandfirestudio.com/wp-content/uploads/2023/05/en11-1.jpg

Obrázek 14: rozdíl v rozlišení digitálního signálu při stejné bitové hloubce a dvojnásobné vzorkovací frekvenci 35

dostupné z: https://woodandfirestudio.com/wp-content/uploads/2023/05/en1-1.jpg

Obrázek 15: změna průběhu signálu po sečtení základní sinusoidy a harmonických frekvencí 36

dostupné z: https://arena.gov.au/assets/2023/01/230112harmonic_distorted_sinewave_feat.jpg

Obrázek 16: velmi extenzivní clipping v digitální doméně 38

dostupné z: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0707/4915/9716/files/CLIPPED-waveform.jpg

Obrázek 17: uživatelské rozhraní pluginů často vychází ze vzhledu reálných hardwarových zařízení.....44

dostupné z: https://scontent.fprg1-1.fna.fbcdn.net/v/t31.18172-8/17504460_10155256763963701_8430494392891396146_o.jpg?_nc_cat=109&ccb=1-7&_nc_sid=5f2048&_nc_ohc=GWY1P-285QIAb68bg7s&_nc_ht=scontent.fprg1-1.fna&oh=00_AfCPYYecYtD9rOjSs0BxqRzVIRhV44VjtpXaI1kzS8s9hQ&oe=663E0B75

Obrázek 18: FabFilter Pro-Q 3 49

dostupné z: https://www.fabfilter.com/img/products/pro-q-3-screenshot.jpg

Obrázek 19: Brainworx SSL 4000E 51

dostupné z: https://files.plugin-alliance.com/products/bx_console_ssl_4000_e/images/carousel/bx_console_ssl_4000_e.jpg

Obrázek 20: Avid EQ III 52

dostupné z: https://cdn-www.avid.com/-/media/avid/images/plugins/eq-iii/eq-iii-audio-plugin.jpg?h=419&iar=0&mw=600&w=580&hash=2677CA4CF7B58C89E416CE877219A1D4

Obrázek 21: FabFilter Pro-C 2.....53

dostupné z: https://www.fabfilter.com/img/products/pro-c-2-screenshot.jpg

Obrázek 22: Brainworx Townhouse Buss Compressor.....54

dostupné z: https://files.plugin-alliance.com/products/bx_townhouse_buss_compressor/images/carousel/bx_townhouse_buss_compressor.jpg

Obrázek 23: Avid Dynamics III Compressor/Limiter 55

dostupné z: https://www.avid.com/_next/image?url=https%3A%2F%2Fedge.sitecorecloud.io%2Favidtech-d6a2e9a9%2Fmedia%2Fimages%2Fmedia-composer%2Fplugins%2Fdynamics-plugin-audio-bundle.jpg%3Fh%3D453%26iar%3D0%26w%3D580&w=3840&q=75

Obrázek 24: Brainworx Console N 56

dostupné z: https://static.kvraudio.com/i/b/bx_console_n.jpg

Obrázek 25: Mäag Audio EQ4 57

dostupné z: https://www.brainworx.audio/assets/images/c/maag-audio-eq4-2xScreenshot-action-blanc_V2-32dc5e8c.png

Obrázek 26: Shadow Hills Mastering Compressor 58

dostupné z: https://files.plugin-alliance.com/products/shadow_hills_class_a_mastering_comp/images/carousel/PA-SHMC-Class-A-04-Action-carousel.jpg

Obrázek 27: Acustica Audio Coffee The Pun 59

dostupné z: https://www.audiofader.com/wp-content/uploads/2020/04/Acustica-Audio-Coffee-The-Pun-ap.jpg

Obrázek 28: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru Pro-Q 3 69

Obrázek 29: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru EQ III 69

Obrázek 30: zobrazení reálné frekvenční odezvy při zadání parametrů u ekvalizéru SSL 4000E 70

Obrázek 31: frekvenční odezva ekvalizéru Coffee The Pun po zadání parametrů 70

Obrázek 32: frekvenční odezva ekvalizéru FabFilter Pro-Q 3 po zadání parametrů 71

Obrázek 33: frekvenční odezva FabFilter Pro-Q 3 při vypnutí jednotlivých filtrů 71

Obrázek 34: frekvenční odezva Mäag Audio EQ4 při vypnutí jednotlivých filtrů 72

Obrázek 35: frekvenční odezva SSL 4000E při vypnutí jednotlivých filtrů 72

Obrázek 36: frekvenční odezva SSL 4000 E při vypnutí jednotlivých filtrů a maximálních hodnotách V Gain a THD 73

Obrázek 37: frekvenční odezva SSL 4000 E při vypnutí jednotlivých filtrů a minimálních hodnotách V Gain a THD 74

Obrázek 38: preference vzorků akustické kytary 76

Obrázek 39: preference vzorků bicí soupravy 77

Obrázek 40: preference vzorků elektrických kytar 77

Obrázek 41: preference vzorků stereo nahrávky 78

Obrázek 42: preference vzorků syntezátorů 78