

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**EXPERIMENTÁLNÍ HARDWAROVÝ HUDEBNÍ NÁSTROJ
KOMBINUJÍCÍ ELEKTRONICKÝ A ELEKTROMECHANICKÝ
ZVUKOVÝ ZDROJ**

EXPERIMENTAL HARDWARE MUSICAL INSTRUMENT COMBINING ELECTRONIC AND
ELECTROMECHANICAL SOUND SOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Pešán

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Audio inženýrství**

Ústav telekomunikací

Student: Michal Pešán

ID: 174468

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Experimentální hardwarový hudební nástroj kombinující elektronický a elektromechanický zvukový zdroj

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a realizovat experimentální elektroakustický hardwarový hudební nástroj; experimentálnost spočívá v neobvyklé kvalitě zvuku, netradičním způsobu ovládání a vzhledu nástroje.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GUŠTAR, M. Elektrofony II. Uvnitř, Praha, 2008. ISBN 978-80-239-8447-7.

[2] FORRÓ D. Svět MIDI. Grada, Praha, 1997. 375s. ISBN 80-7169-412-6.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 29.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout a realizovat experimentální elektroakustický hardwarový hudební nástroj; experimentálnost spočívá v neobvyklé kvalitě zvuku, netradičním způsobu ovládání a vzhledu nástroje.

KLÍČOVÁ SLOVA

experimentální, hardwarový, hudební, nástroj, zdroj, elektromechanický, akustický, elektroakustický, elektronický, mechanický

ABSTRACT

Student is to design and realize experimental electroacoustic hardware musical instrument; it can be find experimental because of its unusual quality of produced sound, extraordinary way of operating the instrument, or its looks.

KEYWORDS

experimental, hardware, musical, instrument, source, electromechanical, acoustic, electroacoustic, electronic, mechanic

PEŠÁN, Michal. *Experimentální hardwarový hudební nástroj kombinující elektronický a elektromechanický zvukový zdroj*. Brno, Rok, 40 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce: doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, PhD.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Experimentální hardwarový hudební nástroj kombinující elektronický a elektromechanický zvukový zdroj“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Mnohokrát děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. MgA. Mgr. Danovi Dlouhému, PhD. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora

Obsah

Úvod	10
1 Rozdělení elektroakustických hudebních nástrojů	11
1.1 Mechanicko-elektrické hudební nástroje	11
1.2 Elektro-mechanické hudební nástroje	11
1.2.1 Bezkontaktní systémy	11
a) Elektromagnetické	11
b) Elektrostatické	11
c) Elektrooptické	12
1.2.2 Kontaktní systémy	12
a) Magnetofonické nástroje	12
b) Gramofonické nástroje	12
2 Elektronické hudební nástroje	13
2.1 Historie	13
2.2 Analogové nástroje	13
2.2.1 První generace – 10. až 60. léta 20. století	13
2.2.2 Druhá generace – konec 50. let až 80. léta	14
2.2.3 Třetí generace – 60. až 80. léta	14
2.3 Analogově-digitální nástroje	15
2.3.1 Čtvrtá generace – polovina 70. let až polovina 80. let	15
2.4 Digitální nástroje	15
2.4.1 Pátá generace – 80. léta až současnost	15
2.4.2 Šestá generace – 1993 až současnost	15
3 Metody generování umělého zvuku	16
3.1 Zvuková syntéza	16
3.1.1 Lineární metody	17
3.1.2 Nelineární metody	17
3.2 Součtová (aditivní) syntéza	17
3.3 Rozdílová (subtraktivní) syntéza	18
3.3.1 Charakteristické vlnové průběhy	18
3.3.2 Sinusový	18
3.3.3 Trojúhelníkový	18
3.3.4 Pilový	18
3.3.5 Obdélníkový	18
3.3.6 Statická formantová syntéza	19

3.3.7	Dynamická rozdílová syntéza	19
3.4	Modulační syntéza	20
3.4.1	Frekvenční modulace – FM	20
3.4.2	Amplitudová modulace – AM	20
3.4.3	Kruhová modulace – RM	21
3.5	Tvarové metody syntézy	21
3.6	Ostatní metody syntézy	21
3.6.1	Granulační metoda syntézy	22
4	Hardwarový hacking	23
4.1	Sedm základních pravidel hackingu	23
4.1.1	1. pravidlo	23
4.1.2	2. pravidlo	23
4.1.3	3. pravidlo	24
4.1.4	4. pravidlo	24
4.1.5	5. pravidlo	24
4.1.6	6. pravidlo	24
4.1.7	7. pravidlo	24
5	Experimentální hudební nástroje současné	25
5.1	Nástroje strunné	25
5.2	Nástroje dechové	25
5.3	Nástroje bicí	26
5.4	Nástroje kombinované	27
6	Elektronický – mechanicko-elektrický hudební nástroj	28
6.1	Koncept	28
6.2	Plánovaný postup výroby	29
6.2.1	Elektronická (vnitřní) část	29
a)	Sestavení obvodu elektrického generátoru zvuku . . .	29
b)	Pomocné elektronické obvody	30
6.2.2	Výroba těla	30
a)	Nákres	31
b)	Model	33
7	Výroba	35
7.1	3D tisk	35
7.2	Elektronická část nástroje	36
8	Zkušenosti s nástrojem	37

9 Závěr	39
Literatura	40

Seznam obrázků

3.1	Realizační schéma zvukové syntézy	16
3.2	Realizační schéma rozdílové syntézy.	19
3.3	Princip syntézy řízenou filtrací	20
6.1	Blokové operační schéma nástroje	29
6.2	Schéma zapojení nástroje Kraakdoos	30
6.3	Blokové schéma operačního zesilovače LM709	30
6.4	Nákres pohled čelní	31
6.5	Nákres pohled levý boční	32
6.6	Nákres pohled pravý boční	32
6.7	Nákres pohled boční spodní	32
6.8	Render 1	33
6.9	Render 2	33
6.10	Render 3	34
7.1	Vytisknutý korpus s výztuhami	35
7.2	Vytisknutý korpus	36

Úvod

Tato bakalářská práce si klade za cíl v první části zmapovat oblast experimentálních hudebních nástrojů, jejich rozřazení do kategorií a následné specifikování těchto kategorií. V druhé části se autor práce věnuje návrhu svého experimentálního hudebního nástroje, předkládá jeho zevrubný popis, konstrukční řešení a jeho zařazení do dříve již definovaných kategorií, popřípadě do kategorie nové, která přesněji odpovídá charakteru instrumentu.

Prvotně je nutné vytyčit pojem „experimentální“ mezi hudebními nástroji. Samotná definice pojmu „experimentální hudební nástroj“ není zcela jednoznačnou a konečnou. Instrument lze nazvat experimentálním z mnoha důvodů. Ať už se jedná o jeho tvar, podobu, způsob ladění či hry, nebo se v jakémkoliv ohledu vymyká konvenční představě o hudebním nástroji, či ji alternuje.

Dnes běžně používané instrumenty vnímané jako „tradiční“ byly ve své době pravděpodobně považovány za experimentální. Vznikaly buď jako zcela nový a do té doby nevídaný koncept, nebo jako modifikace již existujícího nástroje. Jako příklad může posloužit zrod elektrické kytary. Roku 1931 George Beauchamp navrhl svou Frying Pan s celokovovým, hliníkovým tělem a se snímačem převádějící mechanické kmity na napětí. Tento nový koncept položil základy budoucího průmyslu s výrobou elektrifikovaných kytar, když následující rok firma Gibson započala sériovou výrobu tohoto druhu nástrojů.[2]

Scénář vývoje nových nástrojů byl v drtivé většině podobný. Z již existujícího instrumentu byl převzat koncept a na něj aplikovány myšlenky, které daný nástroj modifikovaly. Invence sahaly od zlepšení zvukových vlastností nástroje, jeho ovládání, až po rozšíření případů možného užití.

Tento proces vývoje se stal rychlejším, a především snazším, s nástupem a rozvojem elektroakustických instrumentů.

1 Rozdělení elektroakustických hudebních nástrojů

Text této kapitoly a termíny, které obsahuje, je uveden ve své úplnosti z důvodu větší relevance při pozdějším zařazení autorem navrženého nástroje. Instrument nemusí nutně zasahovat do všech uvedených kategorií, pro úplnost je ovšem uvedena většina z nich.

1.1 Mechanicko-elektrické hudební nástroje

Ke vzniku zvuku dochází snímáním mechanického kmitání strun či jazýčků snímačem, jež následně moduluje průběh protékajícího střídavého elektrického proudu.[2, 3]

1.2 Elektro-mechanické hudební nástroje

Jako jeden z vývojových článků se elektromechanické zhostily role prostředníka při přechodu mezi instrumenty mechanickými a čistě elektrickými, jež posléze nástroje elektromechanické nahradily.

Zvuk zde není tvořen tradičně akustickým způsobem, ale je tvořen mechanicky – většinou na základě rotačního principu. Je vyráběn střídavý elektrický signál reprezentující zvuk.[2, 3]

1.2.1 Bezkontaktní systémy

U této třídy instrumentů vzniká tón v generátoru a má podobu elektrických kmitů. Odpadávají tradiční akustické generátory zvuku a rezonanční skříně.[2]

a) Elektromagnetické

Princip fungování této třídy se v základu sestává z rotačního generátoru – ozubeného kola, které rotuje před kovovým jádrem elektromagnetu, kde vzniká elektrický signál. Nejznámějším a dodnes užívaným nástrojem jsou Hammondovy varhany, které roku 1934 představil Laurens Hammond.[3]

b) Elektrostatické

Byly založeny na principu vyhodnocování změny elektrostatického pole mezi dvěma segmentovanými kovovými deskami, z nichž jedna rotuje. Tento princip fungování zcela zanikl a již se nepoužívá.[3]

c) Elektrooptické

Tento typ byl založen na principu rotačních generátorů s celuloidovými nebo skleněnými disky, obsahujícími vlnové křivky – ty byly pořizovány buď fotograficky, či kreslením. Tyto obrazce přerušují a usměrňují světelný tok ze žárovky na světlo citlivý prvek. Běžné bylo použití masek, clon a filtrů pro další alteraci světelného paprsku, tedy i zvuku. Praktické využití nebylo příliš velké, vzhledem k povaze vnitřní struktury nástroje. Dalo by se říci, že se jednalo o určitý typ sampleru.[2, 3]

1.2.2 Kontaktní systémy

Mechanické kmitání vzniká pomocí elektřiny, nebo naopak elektrické kmitání mechanickým způsobem.[2]

a) Magnetofonické nástroje

Tyto instrumenty fungují na principu magnetofonu. Jedná se o analogový sampler, ve kterém každá klávesa klaviatury odpovídá jedné nahrávce na pásu, která je přehrávána po dobu stisku klávesy. Po uvolnění klávesy se pásek přetočí na začátek. Tento typ nástrojů byl mechanicky velmi složitý a nespolehlivý, což vedlo k časnému ukončení jeho výroby. Jejich využití bylo sporadické.[3]

b) Gramofonické nástroje

Využívaly princip gramofonu. Instrument byl značně nepraktický, poruchový a samotné záznamové medium – gramofonová deska – se přehráváním opotřebovávala. Z toho důvodu drtivá většina nástrojů zůstala ve stadiu experimentů a koncept se nikdy neujal, nebyl již dále využíván.[3]

2 Elektronické hudební nástroje

2.1 Historie

Vývoj elektronických nástrojů byl stejně rapidní jako vývoj elektroniky samotné. Téměř všechny do této doby uvedené instrumenty obsahovaly složitá a nespolehlivá mechanická zařízení, která byla nestabilní a po čase se opotřebovala.

Roku 1898 vynalezl Karl F. Braun oscilační obvod, 1907 Lee DeForest audion – zesilovací triodu. Ta způsobila převrat, protože ve své podstatě jsou oscilátory a filtry jen určitou modifikací zesilovače. Rapidní rozvoj rozhlasové techniky po vynálezu triody podnítil i první experimenty na poli elektronického generování zvuku. Mnoho základních prvků vysokofrekvenční techniky lze použít s úpravou i v nízkofrekvenční technice – oscilátory, filtry, zesilovače, nelineární směšovač (kruhový modulátor). Většina nástrojů této generace byla založena na subtraktivní syntéze (viz. kapitola 3.3). Elektronické varhany využily i aditivní harmonickou syntézu, případně složkovou syntézu (míchání složitějších zvuků). Některé nekomerční přístroje 60. let aplikovaly syntézu pomocí sekvencerů (analogové vlnové tabulky).[2]

Za předchůdce elektronických hudebních nástrojů můžeme považovat Singing Arc Williama Duddella z roku 1899. Jeho autor jej vynalezl náhodou, když se pokoušel odstranit pískání obloukové lampy. Později jej prezentoval na svých přednáškách jako kuriozitu a hračku. Šlo o jednoduchý RLC generátor se světelným obloukem, ve kterém uhlíky tvoří odpor. Nabíjením a vybíjením kondenzátoru vzniká střídavé napětí, jehož hodnota je závislá na velikosti kondenzátoru a cívky. Kmity jsou téměř sinusové, je-li stejnosměrné napětí z baterie výrazně vyšší než generované střídavé napětí. Jako zářič zvuku působí samotný světelný oblouk – rozechvívá periodicky vzduch podobně jako membrána reproduktoru, a tak vzniká syčivý zvuk s konkrétní tónovou výškou. Stavbu prvních prakticky použitelných instrumentů umožnilo teprve rozšíření elektronky v oscilátorech, později v usměrňovačích a zesilovačích.[2]

2.2 Analogové nástroje

2.2.1 První generace – 10. až 60. léta 20. století

Během tohoto období¹ probíhal nejbouřlivější vývoj – jen do roku 1932 bylo podáno zhruba 200 patentů z oblasti elektronických nástrojů. Většina nástrojů 1. generace byla jednohlasá, až později byly představeny vícehlasé i mnohohlasé.[2]

¹Dělení generací je prováděno dle přibližného nástupu nové technologie

Nástroje jsou ovládány bezkontaktně, pomocí lanek, otočnými ovladači, nebo pákami, hmatníkem, tradiční klaviaturou (vyskytovalo se mnoho variant, převládala klaviatura tradiční) a dalšími.

Za první čistě elektronický instrument je považován nástroj Williama Burstyna, který pracoval s vysokofrekvenčními kmity. S oscilátorem byl spojen kuželově navinutý drát – vyzařovací cívka. Vysokofrekvenční kmity byly periodicky modulovány nízkofrekvenčními kmity. Tím vznikalo na vyzařovací cívkě sršení, způsobující kmitání okolního vzduchu. Cívka tedy fungovala na principu reproduktoru. Byla zabudována i regulace hlasitosti a přepínač oktáv.[2]

2.2.2 Druhá generace – konec 50. let až 80. léta

Důležitým mezníkem v elektronice byl rok 1947, kdy byl vynalezen transistor. Nahradil funkci triody při značném zmenšení velikosti a nároků na napájení a chlazení. To se pozitivně odrazilo i v oblasti hudební elektroniky. Do praxe se transistory dostaly až koncem 50. let. Výrobci se soustředili především na komerčně úspěšné elektronické varhany (první celotransistorové postavila Yamaha v roce 1958, firma Allen o rok později). V roce 1958 se objevily první integrované obvody. Zajímavým důkazem toho, jak daleko mají objevy, vynálezy a prototypy k praktickému uplatnění, je skutečnost, že ve stejném roce začal Max Mathews provádět první pokusy s digitálním generováním zvuku.

V této generaci převládaly vícehlasé nástroje založené na transistorech.[2]

2.2.3 Třetí generace – 60. až 80. léta

V tomto období dochází k rozmachu použití integrovaných obvodů. Jedná se o éru analogových syntetizérů, elektronických varhan, rytmerů, elektronických klavírů a kombinovaných hybridních instrumentů – Multikeyboard. Tyto nástroje jsou používány i dnes, přestože jejich zvuk je snadno dosažitelný za pomoci matematického modelování skrze digitální simulaci. Zvukový rozdíl mezi analogovým nástrojem a jeho digitální simulací je záležitostí značně subjektivní, většinou je však naprosto nepatrný.[3]

2.3 Analogově-digitální nástroje

2.3.1 Čtvrtá generace – polovina 70. let až polovina 80. let

Jedná se o období polyfonních syntetizérů s analogovým generováním zvuku a s pamětmi pro záznam nastavení ovládacích prvků. Nástroje jsou používány dodnes, zejména však z nostalgického hlediska, neboť existují digitální simulace valné většiny instrumentů z tohoto období.[3]

2.4 Digitální nástroje

2.4.1 Pátá generace – 80. léta až současnost

V tomto časovém období vzniká nový typ nástroje – Portable Keyboard, presetový multifonní instrument s doprovodnou automatikou, rytmerem, zabudovaným zesilovačem a reproduktory, který je navíc snadno přenosný. Z dřívějších kombinovaných a hybridních nástrojů typu Multikeyboard se v této generaci vyvinul nový instrument typu Workstation – integrované hudební pracoviště.[3]

2.4.2 Šestá generace – 1993 až současnost

Jedná se o resyntetizéry. Namátkou lze zmínit např. Yamaha VL1. Nástroj dokonale imituje chování akustického instrumentu.[3]

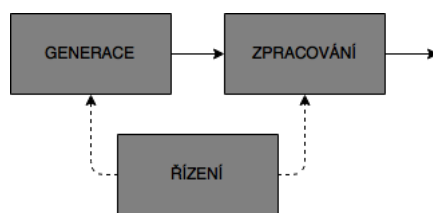
3 Metody generování umělého zvuku

3.1 Zvuková syntéza

Pod pojmem syntéza zvukového signálu rozumíme nejenom přechod od jednoduchého ke složitějšímu tvaru jeho časového průběhu – např. skládání sinusových harmonických složek – ale každou kvantitativní i kvalitativní změnu vlastností daného signálu za účelem realizace zvukového záměru. Z tohoto důvodu je tak zvuková syntéza teoretickým i praktickým východiskem jak elektroakustické hudby, tak i hudební elektroniky, tedy elektronických hudebních nástrojů a přístrojů.

Všechny metody syntézy zvukového signálu mohou mít statický nebo dynamický charakter podle toho, zda neuvažuje či uvažuje s reálnými časovými závislostmi ve struktuře signálu.[1]

Proces praktické syntézy respektující, podle typu realizovaného signálu různou měrou základní dimenze jeho barvy, je ve své složitosti odvislý od metody, jež byla použita. Ve své podstatě realizační schéma dle obrázku 3.1 zůstává stále stejné. Vždy se jedná o proces řízené generace a řízeného lineárního či nelineárního zpracování elektrického signálu za účelem naplnění zvukově estetického záměru. Přestože hudební signál je ve své konečné podobě vždy analogové povahy, proces jeho generace a zpracování včetně vlastního řízení může mít podobu analogovou, tak i digitální. Ryze analogové způsoby syntézy byly typické pro první zvukové syntetizátory, hybridní způsoby pak digitalizují především proces řízení, potažmo i generace. Digitální podoba syntézy pak představuje důsledné využití výpočetní techniky s příslušným obvodovým i programovým vybavením.[1]



Obr. 3.1: Realizační schéma zvukové syntézy

Metody zvukové syntézy se v praxi většinou výhodně kombinují, aby docházelo k vzájemnému doplnění předností jednotlivých metod. Jejich konkrétní technické řešení je závislé především na účelu, k němuž je daná metoda zvolena. Pro účely výzkumu v hudební akustice jsou používány metody reciproční k metodám frekvenční analýzy – tedy metody součtové. Ve studiové praxi je určujícím parametrem především zvukově technická dokonalost a tomu je podřízen i výběr příslušných metod

syntézy. V komerčním užití je kladen důraz na širokou variabilitu zvukových možností při zachování jednoduchého technického řešení.[1]

Ačkoliv v navrženém nástroji je využit pouze jeden z níže uvedených typů syntézy, pro úplnost a zachování kontextu je stručně uvedena většina metod syntéz.

3.1.1 Lineární metody

Sem spadají metody součtové (aditivní) a rozdílové (subtraktivní), u kterých výsledných signál obsahuje pouze takové frekvenční složky, jež byly přítomny už na počátku jeho syntézy, ať už v dílčích jednoduchých signálech nebo v jediném signálu komplexního charakteru.[1]

3.1.2 Nelineární metody

Do nelineárních metod řadíme metody modulační a tvarové, jež oproti lineárním metodám vedou ke vzniku zcela nových složek, které se ve výchozím signálu či signálech nevyskytovaly.[1]

3.2 Součtová (aditivní) syntéza

Z historického hlediska se aditivní syntéza řadí k nejstarším metodám generování umělého zvuku. Princip této metody spočívá v součtu jednoduchých signálů v časové i frekvenční oblasti a její důležitou vlastností je reciprocita s obdobným analytickým postupem.[1]

U sinusového signálu jednoduchý součet harmonických složek dané amplitudy a fáze představuje statickou syntézu, jež se komerčně nejvíce uplatila v elektrofonických varhanách výrobce Hammond.[1]

Analogový model syntézy dynamické bere v potaz nezávislé řízení jak frekvence, tak i amplitudy jednotlivých sinusových signálů, jež mohou být harmonické i neharmonické složky signálu. V krajním případě by dalším řízeným parametrem byla fáze jednotlivých složek. Kromě řízení dynamických změn v procesu nástupu a dozvuku zvukového signálu je třeba realizovat též amplitudové a frekvenční fluktuace (popřípadě i fázové) v zákmitovém stavu pomocí různých typů modulací.[1]

Aditivní (součtové) syntézy lze výhodně použít k vytváření časových průběhů signálů pro další zpracování za použití např. rozdílové nebo modulační syntézy. Kromě výše uvedených součtových metod syntézy hudebního signálu existuje celá řada jejich odvozených variant a kombinací, většinou vyvíjených pro konkrétní zvukový účel. Hlavním benefitem všech aditivních metod je především jejich linearita,

reciprocita a kompatibilita s daným analytickým postupem. Naopak nevýhodou aditivních metod je značná komplikovanost jak po stránce teoretické, tak i praktické. K nevýhodám se řadí i fakt, že aditivní metody syntézy vycházejí z abstraktního rozkladu zvukového signálu a neodpovídají tím elektroakustickému modelu vzniku tónu v hudebním nástroji či obecnému vzniku přirozeného zvukového signálu.[1]

3.3 Rozdílová (subtraktivní) syntéza

Rozdílové metody syntézy zvukového signálu jsou založeny na řízené filtraci komplexního signálu. Pro svou jednoduchost a zvukovou účinnost patří k dosud nejefektivnějším způsobům komerční syntézy.[1]

3.3.1 Charakteristické vlnové průběhy

Výčet nejobvyklejších průběhů hudebního signálu.

3.3.2 Sinusový

Jedná se o signál s nejjednodušším průběhem. V přírodě se přirozeně nevyskytuje. Jeho spektrum neobsahuje kromě základní složky žádné vyšší harmonické. Filtrace tohoto průběhu nemá na výsledný zvuk vliv.[6]

3.3.3 Trojúhelníkový

Je velmi blízký signálu sinusovému. V jeho spektru se vyskytují pouze liché harmonické s rychle klesající amplitudou.[6]

3.3.4 Pilový

Tento signál obsahuje liché i sudé harmonické složky, jejichž amplituda klesá úměrně k jejich pořadí od základní složky. Je harmonicky bohatý a často používaný jako základní signál pro další filtraci.[6]

3.3.5 Obdélníkový

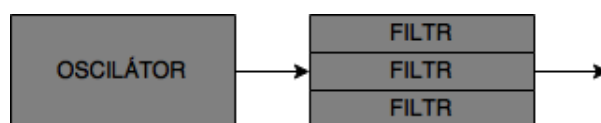
Spektrum obdélníkového signálu je závislé na jeho střídě¹. Pokud je tento poměr roven 1:1, signál obsahuje pouze liché harmonické, stejně jako všechny signály s průběhem symetrickým podle horizontální osy. Amplituda vyšších harmonických klesá

¹poměru časů, ve kterých je obdélníkový signál v jednotlivých úrovních

pomaleji, než je tomu u trojúhelníkového signálu. Začne-li se střída odlišovat od poměru 1:1, ve spektru se začnou objevovat také sudé vyšší harmonické.[6]

3.3.6 Statická formantová syntéza

Je nejjednodušší rozdílová metoda realizovaná pevně naladěnými filtry, které buď zdůrazňují nebo potlačují určité frekvenční oblasti ve spektru komplexního signálu – např. pilového či pulsního průběhu. Toto v podstatě pasivní využití filtrace získalo největší uplatnění v elektronických varhanách. Obrázek 3.2 zobrazuje princip fungování této syntézy.[1]

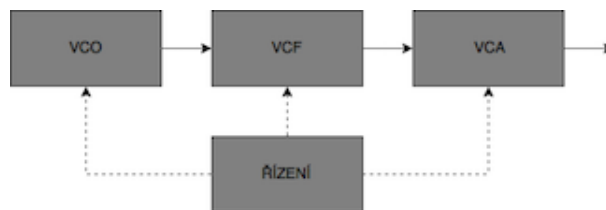


Obr. 3.2: Realizační schéma rozdílové syntézy.

Respektování časových závislostí vývoje spektra během náběhu, trvání i dozvuku tónu či zvuku vyžaduje již ovládání – řízení mezní nebo střední frekvence (závislé podle typu filtru). Jedná se tedy o přeladování filtru ve velmi krátkých časových intervalech, které odpovídají například délce transientu generovaného signálu. K tomuto účelu bylo vyvinuta řada automatizovaných řídicích systémů nastavení oscilátorů, filtrů, zesilovačů a dalších obvodů, jelikož není možné takovýto úkon provádět ručně. Systém napětového řízení propracovaný R. A. Moogem, byl nejjednodušším řešením a pro komerční použití se stal tím nejvýhodnějším. U takového systému je v závislosti na velikosti řídicího napětí nastavována velikost parametrů jednotlivých obvodů, jako jsou frekvence u oscilátorů a filtrů, zesílení u zesilovačů apod.[1]

3.3.7 Dynamická rozdílová syntéza

Je realizována za užití napětově řízeného filtru, ve kterém řídicí signál může být odvozen od frekvence filtrovaného tónu či od externího signálu periodického, náhodného nebo transientního charakteru. Užití signálu transientního charakteru produkovaného generátorem obálky je pro řízení filtru nejdůležitější, neboť ovlivňuje pouze změnu barvy tónu či zvuku, avšak nikoliv jeho výšku či hlasitost. Z tohoto důvodu je řízená filtrace v praxi doplněna řízeným zesílením a řízením vlastní generace komplexního signálu. Na obrázku 3.3 je vyznačen princip syntézy řízenou filtrací. Jedná se o sériové zapojení napětím řízeného oscilátoru (VCO), napětím řízeného filtru (VCF) a napětím řízeného zesilovače (VCA).



Obr. 3.3: Princip syntézy řízenou filtrací

Řízenou filtrací šumového signálu můžeme dosáhnout charakteristických šumových a hlukových příměsí k produkovanému tónu a při úzkém nastavení šířky pásma filtru charakteristického „hvízdavého“ tónu.[1]

3.4 Modulační syntéza

Užití modulace jako syntézy zvukového signálu je především založeno na nelinearitě modulačního procesu, který stojí za vznikem zcela nových složek ve frekvenčním spektru.[1]

3.4.1 Frekvenční modulace – FM

Roku 1973 popsal J.M. Chowning frekvenční modulaci, jež se pro zvukově syntetické účely stala nejužívanější ze základních typů modulací. Modulovaným i modulujícím signálem je signál sinusového průběhu (v praxi užíván i signál komplexního průběhu).

Výhodou syntézy frekvenční modulací je především její rozsáhlá zvuková variabilita při minimálním počtu určujících parametrů, které jsou podle teorie tři, prakticky jich může být 6 až 8.[1]

K velkým výhodám této metody se řadí možnost generace neharmonických zvukových struktur, včetně jejich plynulého přechodu do struktur harmonických. Mezi nevýhody spadá nemožnost individuálního ovlivňování jednotlivých frekvenčních složek, jejichž velikost je určována hodnotami Besselových funkcí.[1]

3.4.2 Amplitudová modulace – AM

Stejně jako je tomu u modulace frekvenční, tak i při použití amplitudové modulace dochází ke vzniku postranních frekvenčních pásem spektra s rozdílem tím, že zvukovým signálem se moduluje amplituda nosného signálu. Vzniklé spektrum není tak bohaté jak u frekvenční modulace a všechny postranní pásma mají totožné amplitudy.[3]

3.4.3 Kruhová modulace – RM

Jedná se o velmi jednoduchou modulační metodu syntézy, odvozenou z amplitudové modulace. Její princip spočívá v násobení dvou signálů, což následně vede ke vzniku součtové a rozdílové složky při potlačení původních signálů. Při vstupu signálů komplexního charakteru dochází k násobení všech složek mezi sebou a výsledný signál je charakteristický složitými spektrálními vztahy. Pro modulaci lze též použít nahodilé, či kontinuální signály (šum apod.).[3, 1]

Modulační metody zvukové syntézy zobrazují odlišný pohled na tvorbu frekvenčních vlastností signálu než ten, který je znám z aditivní syntézy. Přes jistou teoretickou složitost však tyto metody nabízejí relativně snazší technickou realizaci oproti klasickým metodám součtovým. Rozsáhlé zvukové možnosti, především pak frekvenční modulace, jsou ale vyváženy určitými omezeními v úplné kontrolovatelnosti procesu syntézy (oproti např. aditivní syntéze), který vychází z pevného matematického modelu (např. Besselových funkcí). Tato omezení jsou sice nežádoucí pro exaktní výzkumné využití těchto metod syntézy, přesto pro komerční účely nemají takováto negativa při své široké zvukové variabilitě žádný význam.[1]

3.5 Tvarové metody syntézy

Tyto metody se svou podstatou odlišují od dosud uvedených metod. Jejich princip totiž spočívá ve zpracování signálu v jeho časové oblasti (oproti výše jmenovaným, které pracovaly ve frekvenční oblasti signálu) a tím zdánlivě postrádají jakoukoliv souvislost s klasickým analytickým pohledem na strukturu zvukového signálu. Zatímco vlastnosti produkovaného signálu v případě již zde jmenovaných metod syntézy jsou definovány ve frekvenční oblasti a následně se promítají do oblasti časové, u metod tvarových je tomu naopak. Definují se časové vlastnosti signálu, kterým odpovídají následné vlastnosti frekvenční.

Vývoj tvarových metod zvukové syntézy byl převážně spojen s použitím digitální techniky, pro kterou je manipulace se signálem v časové oblasti podstatně jednodušší, než tomu je v oblasti frekvenční.[1]

3.6 Ostatní metody syntézy

Kromě uvedených základních metod zvukové syntézy známe ještě celou řadu technických i ryze programových postupů vedoucích ke generaci nejrůznějších signálů. Tyto postupy, jež jsou často vázány na specifický typ vybavení, vyházejí buď z jedné metody a tu přizpůsobují vlastní konstrukci nástroje nebo vhodným způsobem uvedené metody kombinují.[1]

3.6.1 Granulační metoda syntézy

Jedná se o metodu čistě počítačovou, která realizuje časové posloupnosti elementárních průběhů signálů velmi krátkého trvání a následně je skládá ve výsledný zvukový signál.[1]

4 Hardwarový hacking

Historie HW hackingu, co se hudebního využití týče, se pojí s rozmachem elektroniky v hudební tvorbě, který se udál v průběhu 70. let minulého století.

Jedná se o metodu interaktivní tvorby zvuku a hudby, či zvukového zařízení při použití komerční, spotřební elektroniky, nebo víceméně jakéhokoliv přístroje, který nebyl navrhován a vyráběn jako hudební instrument. Průkopníky v tomto odvětví byli většinou nadšenci bez širšího technického vzdělání, kterým připadal způsob konvenční tvorby zvuku omezený a neinvenční. Namátkou můžeme jmenovat například Michela Waisvisze z holandského STEIM¹, či Nicolase Collinse.

Přesně daný postup této metody neexistuje, jedná se o intuitivní činnost. Je možné zařízení představovat, přidávat součástky, či je naopak odebírat. Velkou roli při tvorbě hraje náhoda, proto je běžnou a hojně prováděnou činností tzv. „dotýkání se obvodů“, kdy tělo hráče figuruje jako část obvodu, jímž dojde k novým, ne nutně fungujícím spojením. Především kvůli poslední zmíněné metodě bylo třeba vytyčit alespoň základní pravidla, aby se zamezilo újmě na zdraví a zabránilo se zbytečným poškozením techniky.[4]

4.1 Sedm základních pravidel hackingu

Volně přeloženo z angl. originálu.[4]

4.1.1 1. pravidlo

Nebojte se.

Nevědomost je dar. Cokoliv, co stojí za to udělat, stojí také za to udělat to nesprávně. Udělat něco nesprávně může být někdy v prospěch věci.

4.1.2 2. pravidlo

Nerozebírejte nic, co se zapojuje přímo do zdi.

Pracujte výhradně s obvody napájenými z baterie. Spotřebiče napájené střídavým napětím vás mohou zabít. Zástrčkové zdroje střídavého napětí mohou být použity pouze poté, co budete jasně znát funkci izolantů a budete si vědomi vážných zranění způsobených elektrickým proudem, která mohou nastat.

¹Studio for Electro-Instrumental Music, Amsterdam, Holandsko

4.1.3 3. pravidlo

Něco rozebrat je podstatně jednodušší, než to potom složit zpět.

Je nepravděpodobné, že rozebrané přístroje budou po opětovném složení fungovat jako předtím, nehledě na to, jak opatrně jste postupovali. Zvažte kolik by stála možná oprava předtím, než začnete něco rozebírat.

4.1.4 4. pravidlo

Dělejte si poznámky o tom, co děláte. Čiňte tak v průběhu práce, ne po ní.

Většina vodičů vypadá na pohled víceméně stejně. Během rozebírání si značte, kde co bylo zapojeno původně, a jak. Obzvlášť důležité jsou přívodní vodiče od zdroje napětí. Stejně tak je důležité poznačit si, co do obvodu přidáváte a co v něm měníte.

4.1.5 5. pravidlo

Vyvarujte se obrácení polarity v obvodu.

Můžete poškodit obvod.

4.1.6 6. pravidlo

Spousta úprav má krátkou životnost.

Mnoho úprav, které provedete, mohou obvod posléze zničit. Děje se tak především v začátcích. Nejedná se o nic neobvyklého, smířte se s tím. Pokud jste se zvukem spokojeni, pořídte si záznam jak jen to bude možné a udělejte si poznámky, co jste s obvodem provedli. Může vám to pomoci, když se budete později snažit o jeho opětovné sestavení.

4.1.7 7. pravidlo

Obecně se snažte vyhnout zkratům.

Vyvarujte se náhodným spojům mezi místy v obvodu. Obvod to nemusí nutně poškodit, přesto se tomu tak pravděpodobně stane, a to v tu nejnevhodnější chvíli.

5 Experimentální hudební nástroje současné

Současná situace na poli experimentálních instrumentů je značně spletitá a při hlubším zkoumání můžeme zjistit, že snahy o systematické řazení v této oblasti – vzhledem ke svému charakteru – mohou být poněkud složitější, než tomu je u tradičních nástrojů. Není neobvyklým jevem, že instrument obdobné konstrukce se vyskytuje, seč s kolikrát značnými modifikacemi lišícími se od sebe navzájem, ve více exemplářích. K tomuto jevu dochází především kvůli faktu, že velká část autorů se inspiruje či rovnou přejímá původní koncept svého nástroje od instrumentu již existujícího. Případ, kdy autor tvoří nástroj konstrukce a koncepce zcela nové a dosud nevidané, je poměrně vzácný. Příčinou může být podstatně větší složitost konstrukčního řešení, způsobu hry, kterou musí autor vytvořit zcela novou, aby vyhovovala charakteru instrumentu a zároveň byla použitelná z uživatelského hlediska a měla možnost širšího uplatnění než pouze užití, k němuž je většinou nástroj konstruován – velké množství experimentálních instrumentů je konstruováno pro specifický druh využití, hudby apod. Se stále rostoucím počtem již zkonstruovaných hudebních nástrojů je samozřejmě nutné podotknout, že přijít s novým konceptem je podstatně složitější, pokud se stále budeme pohybovat pouze v oblasti hardwarových hudebních instrumentů. Ve valné většině případů tedy proces tvorby začíná určením konceptu formy či ovládání některého koncepčního – tradičního – nástroje, jakými jsou instrumenty strunné, klávesové, dechové, bicí či jejich různou kombinací. Pro systemizaci současných experimentálních nástrojů budou použity již dříve zmíněné kategorie a namátkou uvedu významnější autory.[5]

5.1 Nástroje strunné

Největší rozmach tvorby instrumentů tohoto druhu se udál v průběhu druhé poloviny 20. století a od té doby neustal. Nástroje této kategorie se řadí mezi experimentální většinou kvůli svým rozměrovým proporcím. Běžně můžeme nalézt instrument s délkou strun v řádech metrů, či desítek metrů. Situace je obdobná, co se počtu strun nástroje týče. Namátkou mohu zmínit počín Stringar od autorské dvojice Arthéa, jež obsahuje 52 strun, nebo deset metrů dlouhý instrument Monochord, jehož autorem je Nyl Steiner. Použití materiálů strun sahá od točených strun, ocelových drátů až po gumové pásky. Ty například na svém nástroji Room Harp použil Rhodri Davies.[5]

5.2 Nástroje dechové

Kategorie neméně rozsáhlá jako předchozí. Povětšinou se jedná o použití dechového instrumentu neobvyklým způsobem – část nástroje je naplněna tekutinou, která se

během hry odpouští, čímž dochází k alternaci zvuku. Další možnost je připojení vysavače k instrumentu, z něhož je zvuk odsáván, nikoliv do něj vháněn.

Český trumpetista a skladatel Jaroslav Hnilička například vytvořil dechový instrument, jež má jeden nátrubek, ale čtyři různé roztruby¹ čtyř odlišných žestových nástrojů, mezi kterými je možné během hry přecházet skrze stlačení některé z další čtveřice pístů.[5]

5.3 Nástroje bicí

Valná část současných experimentálních nástrojů se řadí do kategorie instrumentů bicích. Společně s elektroakustickými nástroji se jedná o mimořádně expanzivně se rozvíjející obor, ve kterém se každoročně objevují zdokonalené mutace již zavedených druhů, a to jak z hlediska akustických kvalit, designu či odolnosti proti opotřebení. V této kategorii přibývají i zcela nové druhy.

Řada z experimentálních instrumentů bicích se zároveň řadí mezi elasmatofony². Namátkou lze jmenovat maracas, guiro, různé řehtačky apod. Řeč je o všech zvukových zdrojích, které nejsou běžnými nástroji, ale slouží obvykle jako signální zařízení, hračky apod. Dalo by se říci, že mezi elasmatofony se řadí mnoho experimentálních instrumentů, které by dle řazení oscilátoru spadaly do kategorie zcela jiné, nicméně jejich použití je řadí mezi elasmatofony a tím tuto kategorii takřka neomezeně rozšiřují. Tradice používání elasmatofonů v autorské tvorbě sahá hluboko do historie. Leopold Mozart například ve své Dětské symfonii předepsal zvuky kukačky, slavíka a dalších zástupců zpěvného ptactva. Notoricky známou se stala skladba Overtura 1812, ve které Peter Iljič Čajkovskij, kde předepsal zvuky děl. V průběhu minulosti i mnoho dalších autorů využívalo elasmatofonů, ruchů a podobných zvuků ve svých pracích.

Jako speciální nástroje byly okolo roku 1910 sestrojeny přístroje na tvorbu zvukových efektů s názvy Allefex a Kinesounder. Jednalo se o zdokonalené verze nejrůznějších instrumentů na tvorbu zvukových efektů (jako např. píšťal, sirén, neobvyklých perkusivních nástrojů apod.)[5]

¹koncová část dechového nástroje, jež slouží jako radiátor – vyzařuje z ní značná část vnímaného zvuku

²do této kategorie bicích nástrojů spadají instrumenty, jež nelze s určitostí zařadit do ostatních kategorií tzn. membranofonů, krystalofonů, metalofonů apod.

Jako bicí instrument může za správné amplifikace sloužit jakýkoliv předmět, či objekt, který je alespoň částečně vhodný k danému účelu a je jen na hudebníkovi, či skladateli, jak s tímto nástrojem ve své tvorbě naloží.[5]

5.4 Nástroje kombinované

Velké množství experimentálních instrumentů kombinuje více typů rozeznívání, tudíž by jejich zařazení do pouze jediné kategorie bylo značně omezené, a ne zcela pravdivé. Namátkou lze zmínit Glas-Metall-Dosen-Harfe Hanse Karsten Reeckeho, ve kterém zkombinoval segmenty strunné, dechové a bicí. Z tvorby Dana Dlouhého jmenujme nástroj Dravec, jenž kombinuje instrument strunný s různými druhy nástrojů bicích.[5]

6 Elektronický – mechanicko-elektrický hudební nástroj

6.1 Koncept

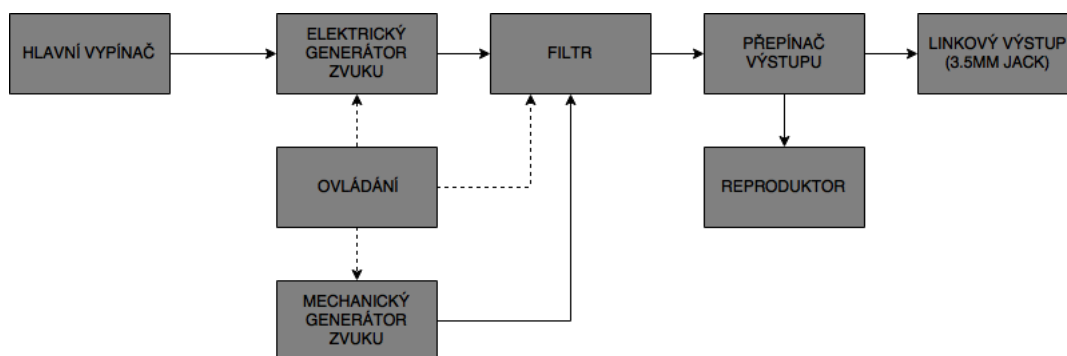
Tento druh nástroje je kombinací dříve uvedených, tedy instrumentu elektronického a mechanicko-elektrického. V konkrétním případě nástroje vytvořeného k zadání této práce se bavíme o kombinaci elektronického zdroje zvuku a zdroje mechanicko-elektrického, ze kterého jsou za pomoci piezo snímače převáděny mechanické kmity na elektrický signál. Základem tohoto instrumentu je elektrický nástroj Kraakdoos vyrobený v roce 1976 Michalem Waisviszem. Jedná se o instrument, který se ovládá skrze odkryté kontakty, jichž se hráč dotýká, uzavírá tím vnitřní obvod a tím dochází ke generování zvuků. Roli mechanicko elektrického zdroje zastávají hroty různých délek zasazené do nástroje, jež po úhozu, drknutí, či jiném uvedení do pohybu budou kmitat. Kmity hrotů samy o sobě částečně zní a rezonují. Použitím piezo-elektrického snímače ovšem můžeme dosáhnout zvuku s bohatším spektrem, větším dynamickým rozsahem a výraznějších frekvencí v basovém pásmu. Výstup piezo-elektrického snímače a elektrického generátoru se smísí a bude procházet filtrem. Výstup filtru bude směřován buď do reproduktoru, či linkového výstupu. Nástroj bude napájen za pomoci 9V zdroje napětí ve formě baterie. Tělo bude vyrobeno z materiálu, jež musí splňovat požadavky na tvárnost a zároveň musí mít dobré akustické vlastnosti. Je tomu potřeba z důvodu přítomnosti mechanického generátoru kmitů, aby rezonovalo nebo přinejmenším alespoň kmity přenášelo. Jako ideální materiál se nabízí dřevo, nicméně práce s tímto materiálem nemusí být uspokojující po vzhledové stránce nástroje. Další možností je využití 3D tisku, jenž je, co se týče vzhledu a možností konstrukce takřka neomezený. Problémem 3D tisku může být vhodnost materiálu – plastu – z pohledu akustického, a také samozřejmě cena.

Autoru přišel samotný koncept hardwarového hackingu dostatečně zajímavý a s ním i možnost postavit originální nástroj. Stejně pak představa, že výstupem bakalářské práce bude fyzický předmět. Mechanická část nástroje byla zakomponována z důvodu rozšíření zvukového a hudebního spektra instrumentu, jelikož zvuky generované pouze elektrických obvodem jsou přes fakt, že vznikají bezvýhradně náhodně, v mnohém případě velmi rázovitého charakteru.

6.2 Plánovaný postup výroby

6.2.1 Elektronická (vnitřní) část

Vnitřní část instrumentu je navržena dle blokového schéma na obrázku 6.1, jež znázorňuje navržený princip funkce nástroje.



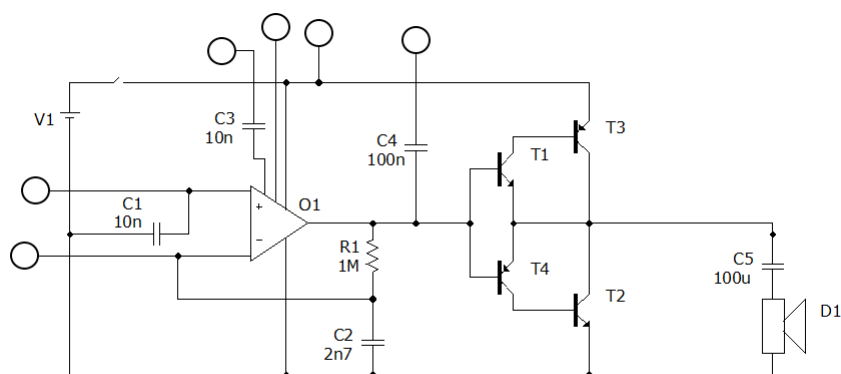
Obr. 6.1: Blokové operační schéma nástroje

a) Sestavení obvodu elektrického generátoru zvuku

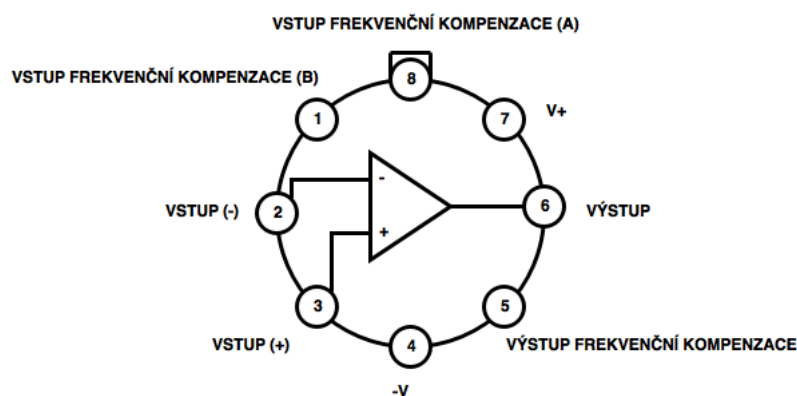
Prvním krokem realizace nástroje bude sestavení obvodu dle schématu na obrázku 6.2 za použití vyhovujících součástek.

Jedná se o zapojení s neinvertujícím operačním zesilovačem LM 709, jehož většina pinů je vyvedena přímo na dotekové kontakty (kruhové značky ve schématu na obrázku 6.2). Jmenovitě se jedná o invertující a neinvertující vstupy (piny č. 2 a č. 3) a oba dva vstupy frekvenční kompenzace (piny č. 1 a č. 8). Pin s výstupem frekvenční kompenzace (č. 5) zůstává nezapojen. Schéma s popisem pinů operačního zesilovače LM709 je zobrazeno na obrázku 6.3. Rezistor R1 je zapojen ve zpětnovazební konfiguraci. Výstup z operačního zesilovače je poté přiveden do Darlingtonova zapojení, kde dojde k zesílení signálu a následně je směřován do reproduktoru.

Od zobrazeného schématu se výsledný instrument bude lišit ve výstupní části Darlingtonova zapojení, za kterou bude následovat filtr a poté se signály z obou zdrojů smísí a budou vyvedeny buď na linkový výstup, nebo do reproduktoru.



Obr. 6.2: Schéma zapojení nástroje Kraakdoos ©Michal Waisvizzs



Obr. 6.3: Blokové schéma operačního zesilovače LM709

b) Pomocné elektronické obvody

Dalším krokem bude sestavení části obvodu, v níž se bude nacházet filtr, který bude mít vliv na výstupní signál z elektrického generátoru a generátoru mechanického. Mechanické kmitání oscilátoru se bude převádět na elektrický signál pomocí piezo snímače umístěném uvnitř korpusu. Dále je třeba vhodné řešení obvodu, kde bude možné zvolit výstup zvuku buď reproduktorem nebo linkovým výstupem.

6.2.2 Výroba těla

Výroba vnější části nástroje, tedy těla, je autorem zamýšlena za pomoci tisku na 3D tiskárně z návrhu vytvořeném v programu Fusion 360 od společnosti Autodesk.

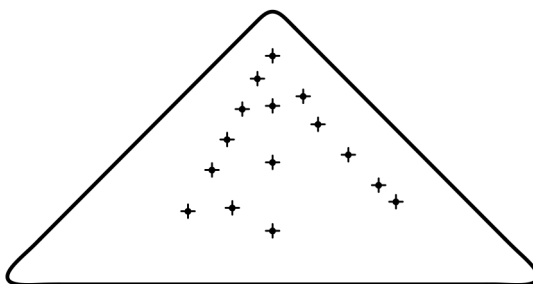
Tvarově se jedná o nepravidelný tetraedr (čtyřstěn), jehož jeden vrchol byl useknut řezem rovnoběžným s protilehlou stěnou, a tím vytvořil další - pátou stěnu. Tvar takto elementárního charakteru byl zvolen, aby odpovídal esteticky elementárnímu zvuku, který by instrument měl vydávat.

a) Nákres

Rozměry byly navrženy s ohledem na pohodlné ovládání, dostatečné vnitřní dispozice pro elektrické obvody a s důrazem na mobilitu nástroje. Přibližné rozměry (D x Š x V) jsou 360 mm, 185 mm a 170 mm .

V čelní stěně viz. obrázek 6.4 budou usazeny kovové hroty (viz. osy, nebo otvory na dalších nákresech), jež budou sloužit jako mechanické oscilátory. Uchycení hrotů bude řešeno vytisknutím otvorů do dané stěny a následnou fixací hrotů pomocí lepidla, či možným použitím vytisknutého závitu.

V boční levé stěně viz. obrázek 6.5 budou umístěny ovládací prvky elektronického generátoru - kontakty pro dotek rukou.



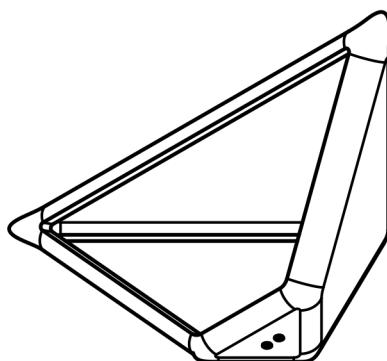
Obr. 6.4: Nákres pohled čelní

Ve stěně směrem k hráči – tedy pravé boční dle obrázku 6.6 bude umístěno ovládání filtru a výstupní hlasitosti.

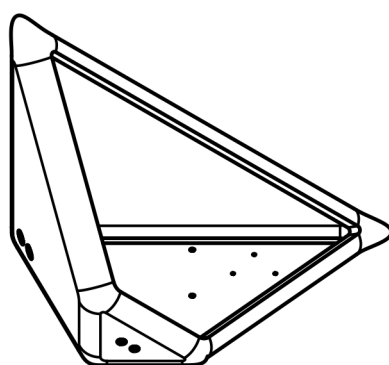
Na obrázku 6.7 můžeme vidět připravené otvory pro uchycení elektrického obvodu a držáku baterie. Spodní stěna na obrázku 6.7 nebude přítomna vůbec, z důvodu snadné instalace elektroniky a servisu instrumentu.

Na nejmenší stěně těla viz. obrázky 6.5, 6.6, se poté bude nacházet linkový výstup a hlavní vypínač.

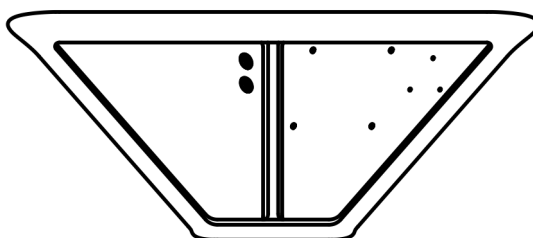
Pozice pro nástroj během hry jsou vymyšleny buď na spodní straně na podložce (stůl, stojan), nebo při hře v sedě na klíně hráče.



Obr. 6.5: Nákres pohled levý boční



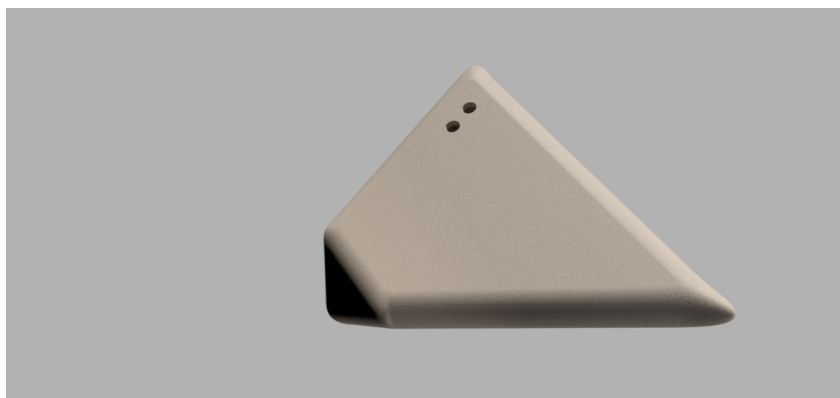
Obr. 6.6: Nákres pohled pravý boční



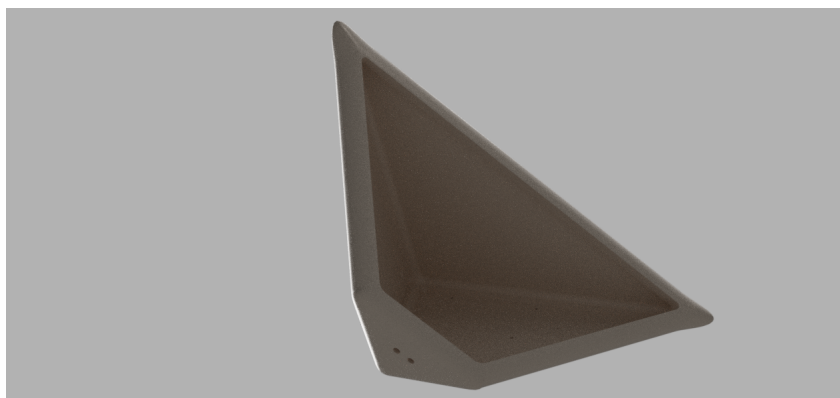
Obr. 6.7: Nákres pohled boční spodní

b) Model

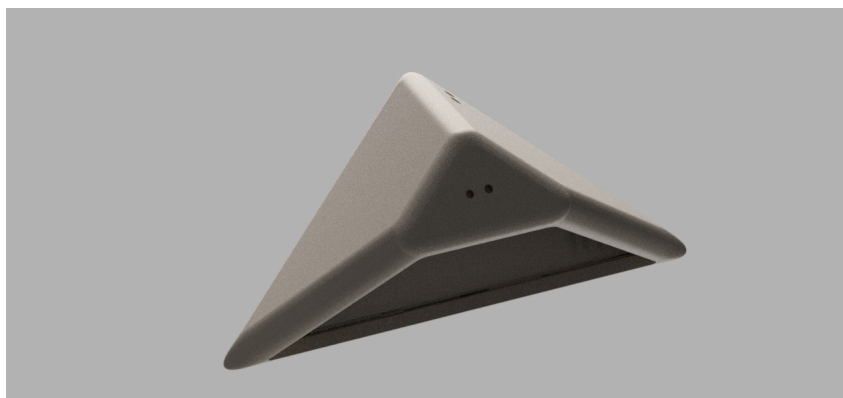
Na obrázcích 6.8, 6.9, 6.10 je zobrazena simulovaná podoba těla nástroje v prostorovém renderu. Rendery do určité míry neodpovídají finální podobě instrumentu. Barva materiálu nemusí přesně odpovídat realitě. Jelikož některé kroky, jako například rozmístění kontaktů pro hru, tak aby to bylo ergonomické a dostatečně uživatelsky přívětivé, nebylo možné dostatečně nasimulovat ve vývojovém prostředí. Bude tak učiněno ve vlastním procesu sestavení.



Obr. 6.8: Render 1



Obr. 6.9: Render 2



Obr. 6.10: Render 3

7 Výroba

7.1 3D tisk

Návrh těla nástroje vytvořený v programu Fusion 360, po exportu do formátu STL byl odeslán do zařízení 3D tiskárny. Materiál filamentu byl zvolen PLA, kvůli své menší smrštivosti, oproti ABS. Jednotlivé stěny instrumentu mají rozdílnou šířku, z důvodu úspory materiálu. Jediná stěna o plné síle stěny 10 mm je čelní stěna sloužící pro uchycení drátů. Stěna nesoucí elektroniku a držák baterie má šíři 6 mm, zbývající dvě stěny jsou 5 mm široké. Během tisku bylo nutné použití výztuh pro zaručení tvarové stálosti korpusu, vzhledem k jeho značně nepravidelnému tvaru (viz. obr. 7.1). Výplně stěn jsou vyřešeny tzv. metodou honeycomb - struktura má podobu včelích pláství, přičemž první (vnější) a poslední (vnitřní) tři vrstvy jsou souvislé.

Tisk zabral celkově dobu zhruba 17 hodin a výsledek je vidět na obrázcích 7.1, 7.2.



Obr. 7.1: Vytisknutý korpus s výztuhami



Obr. 7.2: Vytisknutý korpus

7.2 Elektronická část nástroje

Elektronická část je umístěna na pájivém poli o rozměrech 8 x 6 cm, uchyceném pomoci šroubů na jedné ze stěn instrumentu, jak je možno vidět na nákresu 6.7, nebo v renderu 6.9. Piezo snímač je nalepen zevnitř čelní stěny těla, jeho výstup je přiveden na výstup generátoru, kde se sečte s generovaným zvukem a dále pokračuje buď do reproduktoru, nebo do linkového výstupu. Hroty jsou uchyceny do stěny nástroje pomocí předtištěného závitu, pro vyšší pevnost a stálejší použití mohou být fixovány lepidlem. Kontakty sloužící pro dotek ruky hráče jsou vyvrtány a rozmístěny podle rozměrů ruky hráče, tak aby byla obsluha pohodlná. Jednotlivý kovový kontakt prochází skrze stěnu a je přiveden na příslušný pin operačního zesilovače. Reprodukter je uchycen pomocí lepidla na vnitřní stěnu instrumentu, jelikož jeho uchycení by bylo nepraktické vzhledem k absenci spodní strany nástroje (dna) a jakékoliv jiné horizontální stěny, do které se reproduktory běžně zasazují. Zejména pak ve smyslu mobility nástroje.

8 Zkušenosti s nástrojem

Elektronická část instrumentu, tvořena elektrickým obvodem a otevřenými kontakty pro dotek ruky tvoří širší škálu zvuků, až ruchů. Některé zvuky by se daly přirovnat k trubce, nebo píšťale. Na rozdíl od uvedených nástrojů se ovšem poslechově zdá, že je obsažena pouze první harmonická složka, tedy fundament. Z ruchů můžeme slyšet například různá "škrábání", "vrčení" či statický šum. Některé zvuky by se dalo přirovnat k "pískající myši". Charakter vnímaného zvuku je dle mého názoru stejně subjektivní, jako je jeho vznik. Obsluha není náročná, přesto vyžaduje určitou zručnost. Zejména kvůli faktu, že většina produkovaných zvuků elektrickým obvodem má náhodný charakter, hráč ku příkladu není zcela schopen vždy vytvořit stejný zvuk, jakého dosáhl při předchozím použití. Kontakty pro hru jsou citlivé, co se tlaku týče, výsledný zvuk je tedy odvislý od "síly stisku". Někdy to může znamenat, že hlasitost může být rozdílná, někdy se to projeví jinou výškou tónu. O větší zvukové bohatosti se hovořit nedá, nicméně je tento fakt vyvážen faktorem náhodnosti. Dalo by se říci, že kde nástroj ztrácí na bohatosti zvuku, získává ve svém neotřelém charakteru.

Mechanicko-elektrická část, tedy hroty uchycené ve stěně nástroje, se chová podobně jako většina akustických či elektrifikovaných instrumentů podobného charakteru. Vzhledem k menšímu objemu a materiálu nástroje není rezonance tak silná, jako je například u nástrojů s větším objemem a jiným materiálem zpracování (dřevo apod.). Při uvedení do pohybu prstem (drnknutím), má tón ostrý náběh a poměrně dlouhý dozvuk. Tedy podobný jako většina nástrojů využívajících hrotů, drátů či jiných podlouhlých mechanických oscilátorů. Rozeznívání úhozem paličkou by bylo nejspíše možné, nicméně během testování bylo využíváno pouze rukou, jakožto excitátoru, v různých formách - drnknutí, ťuknutí apod. Oproti čistě akustickému projevu mechanického oscilátoru se výstup z piezoelektrického snímače liší bohatším zvukem na spodních frekvencích. Zvuk je o něco čistější a dá se posléze zesilovat. Ve snaze přirovnat zvuk samotné mechanicko-elektrické části by bylo možné jmenovat zástupce obdobných nástrojů využívající hroty, ať už uchycené, či zavěšené. Z nepříbuzných pak připomíná například brumli větší velikosti.

Dle názoru autora spojení kýžených dvou zdrojů zvuku funguje ve finálním nástroji dobře. Ve spodních až středových frekvencích se nejlépe prosazuje zvuk mechanických oscilátorů amplifikovaný piezoelektrickým snímačem, zatímco na vyšších frekvencích je jasně slyšet zdroj elektronického obvodu. Z pohledu hudební aranže hry lze na elektronickém obvodu udržovat "základní tón" a k němu přidávat tóny skrze mechanicko-elektrický zdroj. Tento postup je samozřejmě možné obrátit. Nicméně vzhledem k povaze elektronického obvodu, jež neustále generuje nové zvuky a zároveň je dokáže udržet na stejné hlasitosti (sustain) mnohem déle, než-li druhý zmíněný zvukový zdroj, nemusí být souhra natolik plyná.

9 Závěr

Studentem byl vytvořen koncept experimentálního hudebního nástroje. V teoretické části práce byly vysvětleny základní pojmy a představeny kategorie nástrojů, do kterých byl experimentální instrument dále zařazen. Tento koncept byl následně přepracován do kompletního návrhu a optimalizován pro potřeby výroby. Posléze byl nástroj realizován a odzkoušen. Další kroky v rozšíření nástroje by mohly být rozšíření zvukových možností využitím efektové jednotky, zvětšení těla nástroje, větší počet laděných hrotů apod.

Po vzhledové stránce by mohl být nástroj ještě nadále upravován, zbroušen, zaleštěn a lakován. Těmito úpravami by šlo dosáhnout vzhledu napohled nerozeznatelného od dřeva, nebo jakéhokoli jiného zamýšleného materiálu. Tyto kroky nebyly v práci provedeny záměrně.

Při zhodnocení postupu výroby by bylo vhodné podotknout, že 3D tisk je výborným nástrojem na výrobu takřka čehokoli, co je možné navrhnout a zároveň je v rámci možností dané tiskárny. Náklady této metody jsou přesto mnohonásobně větší, než-li by tomu mohlo být například při manuální výrobě, která ovšem ne vždy může být alternativou. U návrhů a modelů, jež jsou manuálně relativně snadno zpracovatelné a není u nich nutná například sériová výroba, milimetrová přesnost nebo materiálový požadavek plastu, by stálo za zvážení využití metody jiné.

Dle názoru autora je výsledná podoba nástroje zdařilá.

Literatura

- [1] SYROVÝ, Václav. *Technické základy elektroakustické hudby. 2., přeprac. vyd.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1990.
- [2] FORRÓ, Daniel. *Musitronika: elektroakustické hudební nástroje - Historické EA nástroje.* Brno : Janáčkova akademie múzických umění v Brně, 2004. Sv. I. ISBN 80-85429-39-x.
- [3] FORRÓ, Daniel. *Musitronika: elektroakustické hudební nástroje - Analogové a analogově-digitální syntetizéry.* Brno : Janáčkova akademie múzických umění v Brně, 2001. Sv. II. ISBN 80-85429-50-0.
- [4] COLLINS, Nicolas. *Handmade electronic music: the art of hardware hacking..* New York : Routledge, 2006. ISBN 978-0-415-97592-6.
- [5] DLOUHÝ, Dan. *Přehled, systemizace a zhodnocení tembrálních inovací.* Brno : Janáčkova akademie múzických umění v Brně, 2013. ISBN 978-80-7460-045-6.
- [6] GUŠTAR, Milan. *Elektrofony: historie, principy, souvislosti.* Praha : Uvnitř, 2008. Sv. II - Elektronické nástroje. ISBN 978-80-239-8447-7.