



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 MECHANICKO-ELEKTRICKÝ HUDEBNÍ NÁSTROJ - SAMPLER NA MAGNETOFONICKÉM PRINCIPU, JEHOŽ ZVUK JE FREKVENČNĚ MODULOVÁN

EXPERIMENTAL MUSICAL INSTRUMENT, COMBINING A SAMPLER BASED ON THE TAPE PRINCIPLE AND
THE PRINCIPLE OF FREQUENCY MODULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Hofr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MgA. Mgr. Dan Dlouhý, Ph.D.

BRNO 2023

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Audio inženýrství**
specializace Zvuková produkce a nahrávání
Ústav telekomunikací

Student: Šimon Hofr

ID: 221468

Ročník: 3

Akademický rok: 2022/23

NÁZEV TÉMATU:

Experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj - sampler na magnetofonickém principu, jehož zvuk je frekvenčně modulován

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je realizovat plně funkční prototyp nástroje, navrženého v semestrální práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GUŠTAR, M., Elektrofony I. Uvnitř, Praha, 2006. ISBN 978-80-239-8446-0.

[2] GUŠTAR, M., Elektrofony II. Uvnitř, Praha, 2008. 518s. ISBN 978-80-239-8447-7.

Termín zadání: 6.2.2023

Termín odevzdání: 26.5.2023

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

doc. Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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 bakalářské práce je navrhnout a realizovat experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj blíže specifikovaný jako sampler na magnetofonickém principu jehož zvuk je frekvenčně modulován. V teoretickém úvodu popíšu základní rozdělení hudebních nástrojů a představím příklady z vybraných skupin, které se blíží navrženému sampleru. Druhá kapitola se věnuje druhům syntéz, z čehož stěžejní je frekvenční modulace. Ve třetí kapitole je popsán návrh podoby sampleru a jeho obvody. Čtvrtá kapitola pojednává o realizaci a poznatcích z konstrukce.

Klíčová slova

Frekvenční modulace, syntezátor, sampler, oscilátor, magnetofonický pásek

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to design and implement an experimental mechanical-electric musical instrument specified as a sampler on the magnetophonic principle, whose sound is frequency modulated. In the theoretical introduction I will describe the basic classification of musical instruments and present examples from selected groups that are close to the proposed sampler. The second chapter is devoted to types of synthesis, of which frequency modulation is the central one. The third chapter describes the design of the sampler form and its circuitry. The fourth chapter discusses the realisation and construction findings.

Keywords

Frequency modulation, synthesizer, sampler, oscillator, magnetophonic tape

Bibliografická citace

HOFR, Šimon. *Experimentální mechanicko-elektrický hudební nástroj – sampler na magnetofonickém principu, jehož zvuk je frekvenčně modulován*. Brno, 2023.

Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/151121>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedoucí práce Dan Dlouhý.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Šimon Hofr
VUT ID studenta:	221468
Typ práce:	Bakalářská práce
Akademický rok:	2022/2023
Téma závěrečné práce:	Experimentální elektricko-mechanický hudební nástroj – sampler na magnetofonickém principu, jehož zvuk je frekvenčně modulován

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si 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.

V Brně dne: 26.5.2023

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. MgA. Mgr. Danu Dlouhému, Ph.D. za odbornou pomoc, pevné nervy a cenné připomínky při zpracování mé práce. Rád bych dále poděkoval rodičům, zejména tátovi, za podporu.

V Brně dne: 26.5.2023

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	9
ÚVOD	10
1. TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 HISTORIE ELEKTROAKUSTICKÝCH HUDEBNÍCH NÁSTROJŮ	11
1.1.1 Rozdělení elektromechanických nástrojů	11
1.2 ELEKTROMAGNETICKÉ NÁSTROJE	13
1.2.1 Telharmonium	13
1.2.1 Hammondovy varhany	14
1.3 MAGNETOFONICKÉ NÁSTROJE	15
1.3.1 Rhythmate	15
1.3.2 Mellotron	16
1.4 ELEKTRONICKÉ NÁSTROJE	17
1.4.1 Theremin	17
1.4.2 Martenotovy vlny	18
1.4.3 Modulární syntetizéry Moog	19
1.4.4 Minimoog model D	20
1.4.5 Yamaha DX-7	20
2. ZÁKLADNÍ TYPY SYNTÉZ	22
2.1 ADITIVNÍ (SOUČTOVÁ) SYNTÉZA	22
2.2 SUBTRAKTIVNÍ (ROZDÍLOVÁ) SYNTÉZA	22
2.3 MODULAČNÍ SYNTÉZA	22
2.3.1 Amplitudová modulace	23
2.3.2 Frekvenční modulace	24
2.4 DALŠÍ TYPY SYNTÉZ	24
3. PRAKTICKÁ ČÁST	25
3.1 NAPÁJENÍ SAMPLERU	25
3.2 SNÍMÁNÍ MAGNETOFONICKÉ PÁSKY	26
3.3 AUDIO MIXÉR	26
3.4 AUDIO OSCILÁTOR	29
3.5 NÍZKOFREKVENČNÍ OSCILÁTOR (LFO)	30
3.6 ADSR OBÁLKA	31
3.7 WAHWAH EFEKT	33
4. REALIZACE	34
4.1 VÝROBA SKŘÍNKY PRO UMÍSTĚNÍ SAMPLERU	34
4.2 OSAZENÍ NEPÁJIVÉHO POLE OBVODY	35
4.3 PROBLÉMY S REALIZACÍ	37
4.4 MOŽNÁ HUDEBNÍ VYUŽITÍ	38
ZÁVĚR	40
LITERATURA	41
SEZNAM ZKRATEK	44

SEZNAM SOUČÁSTEK.....	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	47

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Tónové kolo telharmonia [3].....	14
Obr. č. 2 Hammondovy varhany s Leslie boxem [7]	15
Obr. č. 3 Chamberlin Rhythmate [18].....	16
Obr. č. 4 Mellotron M400 [6]	17
Obr. č. 5 Theremin [12]	18
Obr. č. 6 Martenotovy vlny [8]	19
Obr. č. 7 Reedice prvního syntetizéru s názvem Moog Model 10 [9]	19
Obr. č. 8 Minimoog Model D [10].....	20
Obr. č. 9 Yamaha DX-7	21
Obr. č. 10 Blokové schéma sampleru	25
Obr. č. 11 Snímač magnetofonické pásky spolu se zesilovačem [16]	26
Obr. č. 12 Pasivní mixér	27
Obr. č. 13 Audio mixér	28
Obr. č. 14 Audio oscilátor.....	29
Obr. č. 15 Nízkofrekvenční oscilátor	30
Obr. č. 16 Časový průběh ADSR obálky	31
Obr. č. 17 Generátor ADSR obálky	32
Obr. č. 18 WahWah s přepínatelným rozsahem.....	33
Obr. č. 19 Obvod WahWah filtru.....	33
Obr. č. 20 Oscilátor před úpravou a po úpravě	34
Obr. č. 21 LFO na nepájivém poli	35
Obr. č. 22 Audio oscilátor na nepájivém poli	36
Obr. č. 23 Zesilovač na nepájivém poli	36
Obr. č. 24 Skříňka nástroje – pohled z boku	48
Obr. č. 25 Skříňka nástroje – pohled zezadu.....	48
Obr. č. 26 Předpřipravený přední panel	49

ÚVOD

Cílem bakalářské práce je sestavení experimentálního mechanicko-elektrického hudebního nástroje. Jedná se o sampler na magnetofonickém principu, jehož zvuk je frekvenčně modulován. Bakalářská práce vychází ze semestrální práce, kde bylo specifikováno, jaká bude podoba nástroje, jeho ovládání a navrženy elektrické obvody, jež finální nástroj obsahuje. Poznatky a výsledky byly zaznamenány a jsou součástí praktické části práce, která má následující strukturu:

První dvě kapitoly spadají pod teoretickou část a zbylé dvě kapitoly zahrnují praktickou část a samotnou realizaci.

V první kapitole je přiblížena problematika elektroakustických nástrojů a jejich rozdělení podle Hornbostel-Sachsova systému. Následují příklady nástrojů, které souvisí přímo se sestrojeným samplerem nebo sdílí podobné principy syntézy.

Pro práci jsou důležité nástroje magnetofonické, z nichž je čerpána hlavní inspirace v použití magnetofonových pásek jako samplů. Mezi další inspiraci spadá modulace a úpravy signálu, které jsou součástí nástrojů elektronických.

Druhá kapitola je zaměřena na druhy syntéz, kde jsou rozebrány základní druhy od součtové, přes modulační, až po digitální syntézy, které jsou rozebrány jenom okrajově, z důvodu rozšíření pojmů. Hlavní syntézou je v tomto projektu frekvenční modulace, protože její princip je využíván.

Třetí kapitola je věnována návrhu nástroje a dílčích obvodů použitých v syntetizéru, což jsou obvody audio oscilátoru, nízkofrekvenčního oscilátoru LFO, generátoru obálky a filtru WahWah.

V poslední kapitole je popsána konstrukce skřínky, kde je umístěn sampler, průběh realizace a oživení obvodů, které byly navrženy v předchozí kapitole.

1. TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Historie elektroakustických hudebních nástrojů

Podle Hornbostel–Sachsova způsobu dělíme nástroje do 5 skupin:

- vzduchové (aerofony)
- blanzvučné (membranofony)
- samozvučné (idiofony)
- strunné (chordofony)
- elektrické (elektrofony)

Obecně elektrofony zahrnují širokou škálu podskupin. Hornbostel–Sachsův systém je rozděluje na elektroakustické a elektronické. Bohužel další třídění je nejednotné a nejednotná je i užívaná terminologie. Můžeme vzít klasický nástroj s mechanicko-elektrickým převodníkem, ale bude se jednat pouze o nástroj ozvučený (amplifikovaný).

V rámci bakalářské práce využiji kategorizaci, že výstup nástroje je elektrický a nelze jej plnohodnotně použít pro reprodukci zvuku bez elektrického zesílení.

Nástroj, jehož zvuk je generován čistě elektricky nese označení **elektronický**. Podle typu zpracování tohoto signálu se dále dělí na analogový, digitální a hybridní. V práci chybí digitální složka, proto jsem se rozhodl jej dál nerozebírat.

Elektroakustické nástroje mají i další odvětví. Dělí se na tyto skupiny:

mechanicko-elektrické – elektřina je využita pouze pro přenos signálu, zvuk samotný není tvořen elektricky

elektromechanické – nástroje již vyrábějí zvuk pomocí elektřiny, většinou založené na generování kmitání, či rotaci části nástroje

elektronické – zvuk zde vzniká elektrickými obvody, u digitálních nástrojů se zvuk zpracovává v číslicovém formátu

1.1.1 Rozdělení elektromechanických nástrojů

Tato třída již nepoužívá tradiční metody tvorby zvuku, ale nové způsoby, které jsou založeny na starých mechanických principech. Dílčí podskupiny se kategorizují podle systému snímání:

Kontaktní systémy – zde vzniká mechanické kmitání pomocí elektřiny nebo naopak elektrické kmitání mechanickým impulsem. Tyto systémy se dále dělí na gramofonické a magnetofonické.

Bezkontaktní systémy – zde vzniká tón v generátorech v podobě elektrických kmitů a klávesy fungují pouze jako spínače. Také mají další rozdělení v podobě elektromagnetických, elektrostatických a elektro-optických nástrojů.

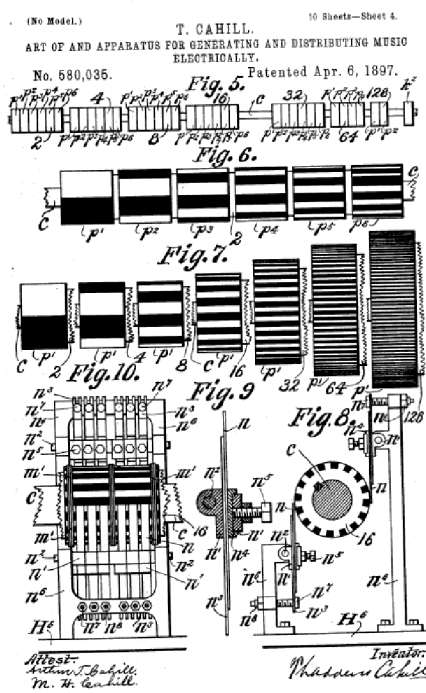
Na následujících stránkách je představeno pár zástupců z elektromagnetických, magnetofonických a elektronických nástrojů. Jejich výběr souvisí s myšlenkovým návrhem, který předcházet finální podobě. Jsou přidáni i zástupci pro doplnění celku. Pozornost si zaslouhují magnetofonické nástroje, které se staly konečnou inspirací spolu se syntetizéry, od nichž si vybíráme principy při modulování a úpravách zvuku.

1.2 Elektromagnetické nástroje

Jak je již uvedeno výše, elektromagnetické nástroje spadají pod bezkontaktní elektromechanické nástroje. Jejich zvuk je tvořen generátorem, což bývá ozubené tónové kolo namířené na kovové jádro cívky. Tvar těchto kol určuje výsledný generovaný signál. Dále přiblížím Telharmonium a Hammondovy varhany.

1.2.1 Telharmonium

Za první elektricko-akustický hudební nástroj se dá považovat Telharmonium, později nazvaný Dynamofon. Vyvíjen byl vynálezcem Thaddeem Cahillem v devadesátých letech 19. století. První prototyp byl sestaven již roku 1901 a vážil sedm tun. Fungoval na principu generování signálu pomocí tónových kol, což byla ozubená kola namířená na jádro cívky. Každé kolo generovalo 8 sinusových tónů a také pomocí manuálního nastavení mix jejich kombinací (aditivní harmonická syntéza). Cahill čelil ve svém zkoumání různým překážkám. Jelikož ještě nebyly vynalezeny zesilovače, musel používat velice výkonné alternátory (uváděno až 10 kW) a poupravená sluchátka s trychtýřovým zvukovodem pro reprodukci vytvářeného zvuku. Po získání finanční podpory se Cahill pustil do stavby další verze, která byla nazvána *Telharmonium Mark II*, neboli již zmíněný Dynamofon. Tento nástroj vážil 200 tun, byl poháněn 145 speciálně upravenými alternátory a měl 2000 spínačů. Jeho frekvenční rozsah byl 40–4000 Hz, což je necelých 7 oktáv. Již zmíněné alternátory byly laděné tak, že vytvářely 36 tónů do oktávy. Pro hraní na nástroj bylo zapotřebí dvou hráčů ovládající 3 manuály a pedál. Verze Mark II byla dokončena v roce 1906 a ještě tentýž rok převezena do New Yorku. Tam Cahill založil společnost New York Electric Music Company a spolu s New York Telephone Company položili rozvody na přenos hudby po restauracích, hotelech a veřejných prostor. Za zmínku určitě stojí i myšlenka rozvádět hudbu po kabelech uživatelům s předplatným. První koncerty získaly pochvalné ohlasy i od významných celebrit tehdejší doby například Marka Twaina, Giacomu Pucciniho, či Ferruccia Bussoniho, který dokonce nástroj popsal ve své publikaci roku 1907. Bohužel se chod neobešel bez komplikací. Při pokládání kabelů totiž společnost New York Telephone Company pochybila a položila rozvody moc blízko svým telefonním kabelům, a to mělo za následek pronikání signálů a rušení hovorů, díky silnému signálu telharmonia. Spolupráce byly rozvázány a Cahillova společnost později vyhlásila bankrot. V roce 1911 byl ještě představena verze Mark III, ale již s neúspěchem. S nástupem diod a triod telharmonium rychle zastaralo a upadlo. Ovšem princip a myšlenky v pozdějších letech využil Laurens Hammond v konstrukci svých Hammondových varhan. [1][2][3] [12][13]



Obr. č. 1 Tónové kolo telharmonia [3]

1.2.1 Hammondovy varhany

Za nejdokonalejší elektromagnetický nástroj se dají považovat Hammondovy varhany. Začátkem třicátých let Laurens Hammond vycítil potenciál elektroharmonických nástrojů a začal společně s vynálezcem Johnem Hanertem vyvíjet levnější alternativu k píšťalovým varhanám. Použili podobné principy jako u předešlého telharmonia. Roku 1935 je představena první verze, která využívá rotační generátory. Tenhle systém vydržel až do roku 1975, kdy se přešlo na elektronickou technologii. Rotační generátory využívají tzv. fónická kola ke tvorbě tónu. Jeden rotační generátor jich má 96, ale aktivně využívá jen 91 (zbylých 5 pracují naprázdno kvůli mechanické souměrnosti). Tónová kola jsou rozdělena do dvanácti skupin po osmi kolečkách. Kolečka ve skupině mají různý počet ozubení – 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 a 192. Kvůli tehdejšímu technologiím nebylo možné přesně vytvořit kolečko s 254 zuby, proto bylo použito 192 zubů. Výsledný zvuk se míchá pomocí táhel a je dotvářen elektronickým perkuse, také elektronickým vibratem/chorusem, pružinovým reverbem a elektronickým zesilovačem. K Hammondovým varhanám neodmyslitelně patří Leslie box od konstruktéra Dona Leslieho. Tahle kombinace vznikla roku 1940. V boxu se dá nastavit rychlost rotace výškového difusoru a nástroj se dodnes hojně využívá po celém světě. Můžeme najít i analogové či digitální simulace Hammondových varhan. [1][7][12][13]



Obr. č. 2 Hammondovy varhany s Leslie boxem [7]

1.3 Magnetofonické nástroje

Magnetofonické nástroje využívají ke své reprodukci magnetofonické pásky. Chod nerovnoměrně zmagnetizované pásky způsobuje změny magnetického pole v blízkosti reprodukční hlavy. Toto pole indukuje střídavý proud, jehož průběh odpovídá zaznamenanému zvuku.

Jsou dvě základní rozdělení magnetofonických nástrojů. Cyklický systém zpracovává a generuje opakující se smyčky a patterny a druhý systém pracuje s lineárními úseky a využívá se na práci s nerepetitivními strukturami. [1][2]

1.3.1 Rhythmate

Henry Chamberlin stojí nejen za nástrojem *chamberlin*, ale také za rytmickým automatem *Rhythmate*, který fungoval na cyklickém systému, kdy bylo možné pohybovat posuvníkem na čelním panelu a přehrát tak jednu ze 14 smyček. Dalo se měnit i tempo, kdy se urychlil chod pásek. Vše bylo umístěno v kompaktním dřevěném boxu se zabudovaným elektronkovým zesilovačem a reproduktorem. Vyšlo několik verzí s označením 25, 35 a 45, které jsou konstrukčně stejné, jen se odlišují nahranými rytmy. [2]



Obr. č. 3 Chamberlin Rhythmate [18]

1.3.2 Mellotron

Mellotron vychází z podobného nástroje jménem *chamberlin* (byl vyráběn v letech 1951–1981). Tyto nástroje spadají do kategorie magnetofonických nástrojů. Po stisku klávesy nebo kláves se dá magnetofonová páska do pohybu, přehraje se předem zaznamenaný zvuk a při uvolnění klávesy se páska převine opět na začátek. Spoluprací firem Bradmatic a Robinson byla roku 1964 vyrobena první verze s označením *Mellotron Mark 1*. První nástroj byl dosti nespolehlivý, a proto byl nahrazen o rok později Mellotrotem Mark 2. Tahle verze byla dvou-manuálová a každý manuál měl 35 kláves. Levá část klaviatury přehrávala rytmické a akordické samplery a pravá část byla určena na tvoření melodie. Nejznámějším modelem je však *Mellotron M400*. Jedná se o malou verzi jen s 35 klávesami, kde je trvání tónu nastaveno na přibližných 10 sekund, a právě to vytváří speciální způsob hraní. Mellotron uměl přehrát různé tradiční vzorky jako například flétny, housle, violoncella, žestě, ale také netradiční, protože byla nabízena možnost vlastních vzorků. Nástroj měl i hodně problémů, a to například stabilitu ladění, která byla závislá na rovnoměrnosti chodu pásu a přítlačné kladky musely mít správné nastavení pro každou klávesu zvlášť. Na kvalitu reprodukce mělo vliv i zkreslení snímacích hlav a taky šum. Pro mnohé byla překážka i nepřítomnost přirozeného doznění tónu. I přes všechny nedostatky je nesporné, že Mellotron je unikátní nástroj, který oslovil nemálo umělců, nejznámějším příkladem jsou The Beatles s písní *Strawberry Fields Forever*. Dalšími příklady jsou Led Zeppelin, Rolling Stones, či z dnešní doby Foo Fighters nebo Red Hot Chili Peppers (ty doprovází digitální verze Mellotronu). Nelze upřít, že jde o první analogový sampler, který byl ovšem rychle nahrazen jednoduššími digitálními technologiemi a, na rozdíl od Mellotronu, mohli nahrávat do digitální paměti, jako například Fairlight CMI, který měl v sobě zabudovanou paměť se vzorky a je kreditován za pojem sampler. V softwarové podobě najdeme programy Kontakt, nejnovější generace Kontakt 7, od společnosti Native Instruments a HALion od Steinbergu. Oba programy disponují širokou škálou

nástrojů pro upravování a tvorbu samplů, rozsáhlé možnosti syntéz s možností vlastních zvukových zapojení a velikou databází různých filtrů, efektů a obálek. [1][6][12]

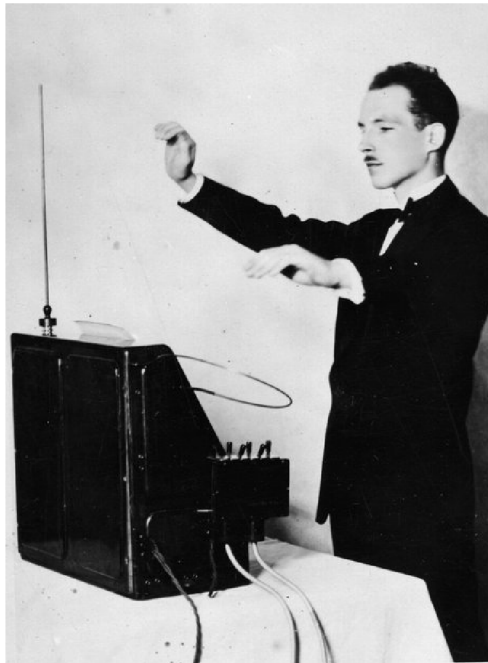


Obr. č. 4 Mellotron M400 [6]

1.4 Elektronické nástroje

1.4.1 Theremin

Začátky thereminu se datují do roku 1917, kdy Lev Těrmén využil jevu, při kterém vysokofrekvenční elektrické obvody reagují na kapacitanci lidského těla. Těrmén experimentoval s těmito změnami, aby bezdotykově ovlivňoval výšku a hlasitost tónu. V roce 1920 se theremin, tehdy nazýván aetherophone, spouští do výroby. I přes mnohé problémy, jakými jsou například nestabilní oscilátory, interference s rádiovými vlnami a citlivost na počasí, se nástroj stává prvním sériově vyráběným elektronickým nástrojem. Theremin je jednohlasý nástroj (generuje sinusový signál) a je ovládán bezkontaktně pohybem rukou hráče. Svislá anténa ovládá výšku tónu, kdy se přiblížením ruky tón zvyšuje. Anténa pro levou ruku má tvar smyčky a ovládá hlasitost. Kombinací těchto dvou parametrů můžeme vytvářet oddělené tóny nebo glissanda. Zvuk vzniká kombinací dvou vysokofrekvenčních oscilátorů. Jeden je laděný fixně na 170 kHz a druhý oscilátor je variabilní a dá se na něm nastavit rozmezí 168–170 kHz. Je uváděno, že do vzdálenosti jednoho kroku od antény se vejde okolo šesti oktáv, ale pouze tři až čtyři jsou z nich použitelné. Kvůli zajímavým zvukovým vlastnostem se stal oblíbeným mezi skladateli, např. avantgardní skladatel Josef Schilinger, nebo u nás Bohuslav Martinů. Své místo má i u filmu, např. *Rozdvojená duše* od A. Hitchcocka, *Ztracený víkend* od B. Wildera, či u různých sci-fi filmů. [1][5][12][13]



Obr. č. 5 Theremin [12]

1.4.2 Martenotovy vlny

Návaznost na *Theremin* mají i *Martenotovy vlny*. Jeho tvůrce Maurice Martenot se roku 1923 setkává s Lvem Těrmenem. Maurice byl zaujat ideou thereminu a pokusil se tedy o vytvoření vlastního nástroje na Těrmenově principu. Výsledkem mu byl všestranný nástroj pro klasické hudebníky, který finálně představil roku 1928 v pařížské Opeře. Nástroj byl monofonní a disponoval sedmioktávovou klaviaturou a strunou s prstenem. Podobnost s thereminem měl v oscilátorech, avšak variabilní oscilátor byl u Martenotových vln fixně laděn ke každé klávese zvlášť. Zdroj tónů byly potom dva generátory vytvářející rozsah od F1 až po c5. Zmiňovaná struna s prstenem byla zavěšena nad páskem, který reagoval na zmáčknutí. Nástroj disponoval také filtry, kterými bylo možné měnit zabarvení zvuku. Martenotovy vlny si získaly komerční úspěch, což dokládá i jejich stále probíhající výroba, včetně digitální formy, jako je například implementace v softwarovém sampleru Kontakt 7 od společnosti Native Instruments. [1][8]



Obr. č. 6 Martenotovy vlny [8]

1.4.3 Modulární syntetizéry Moog

Robert Moog se stal ikonou šedesátých let minulého století, když širší veřejnosti představil obvody pro generování a zpracování zvuku. Tyto monofonní přístroje byly umístěny ve velkých dřevěných konstrukcích a uvnitř byly seskládány různé funkční moduly propojené jednoduchými kabely tzv. patchkabely. Každý modul dělal něco jiného, jeden byl napětím řízený oscilátor VCO, produkující i jiné signály než sinusový, a zesilovač, dalším modulem může být filtr, generátor obálky, zpoždění, echo, zkreslení. Všechny tyto parametry se samozřejmě měnily v modulech pomocí potenciometrů. Dále vznikaly zajímavé kombinace různým zapojením modulů mezi sebou, tedy zvukovou cestou kudy signál putoval. Proto modulární syntetizéry dosti kladly váhu na teoretické znalosti uživatelů. Nepříznivým aspektem byla i cena a náročné sestavení modulů. [9][14]



Obr. č. 7 Reedice prvního syntetizéru s názvem Moog Model 10 [9]

1.4.4 Minimoog model D

Asi nejznámějším syntezátorem z dílny Roberta Mooga je *Minimoog model D*. Robert se začátkem sedmdesátých let zaměřil na kompaktnější, a hlavně přenosnější verzi. Už nemá modulární koncepci znamenající menší zvukové možnosti než předchozí modulární syntezátory, ale to se vynahrazuje jednodušším ovládáním. Disponuje klaviaturou o 44 klávesách odpovídající třem a půl oktávám s nejnižším tónem F. Jako první implementoval tzv. pitch wheel a mod wheel. Dále obsahuje tři monofonní oscilátory, které jsou schopné generovat šest různých tvarů signálu (obdélník, trojúhelník, nesymetrický trojúhelník, pilu, dva pulsní průběhy s rozdílnými šířkami). Jediným se taky stal napětím řízený filtr VCF, generátor bílého šumu, tři segmentový generátor obálky ADSR, který se dal nastavit na Attack-Sustain-Release nebo Attack-Decay-Sustain. Pro modulaci měl ještě nízkofrekvenční oscilátor LFO. [9][14]



Obr. č. 8 Minimoog Model D [10]

1.4.5 Yamaha DX-7

V roce 1983 přichází Yamaha s digitálním syntetizérem obsahující FM syntézu. Algoritmus pro syntézu byl představen na Stanfordské univerzitě Johnem Chowningem a krátce na to se Yamaha dohodla na testování pro nový nástroj. Syntetizér rychle zaujal svými kompaktními rozměry i cenovou dostupností. Digitální zpracování znamenalo více parametrů pro ladění, z nichž mnohé se zdály být neintuitivní, což ve výsledku vedlo ke zmatení mnoha uživatelů. Na druhé straně hudebníci, kteří do útroby pronikly dokázali vytvořit množství ještě neslyšených komplexních zvuků. Nadšení z nových možností vedl k velikému komerčnímu úspěchu v poli digitálních syntetizérů. Můžeme konstatovat, že *Yamaha DX-7* je i dodnes hojně využívaný nástroj, který započal novou

éru. Programovatelnou FM syntézu najdeme i v softwarových pluginech například od firmy Native Instruments *FM8*. [23]



Obr. č. 9 Yamaha DX-7

2. ZÁKLADNÍ TYPY SYNTÉZ

V téhle kapitole jsou představeny základní typy syntéz, což budou aditivní, subtraktivní, a modulační syntézy. V modulační syntéze se zaměřím na frekvenční modulaci, jelikož ji v rámci nástroje budu využívat.

2.1 Aditivní (součtová) syntéza

Aditivní syntéza je nejstarší způsob tvorby syntetického zvuku. Funguje na principu generování jednoduchých harmonických průběhů (třeba sinusoid s různými parametry), které následně sčítáme do koncového tónu. Můžeme se takto přiblížit k napodobení mnohých nástrojů, pokud máme změřené jejich spektrum. Přiblížit proto, protože reálné nástroje mění své spektrum v čase. Také jsou tu konstrukční nevýhody, kdy bychom potřebovali velké množství oscilátorů pro generování věrohodné a kvalitní reprodukce. I v dnešní digitální době se realizace aditivní syntézy téměř neuchytila.

Z historických nástrojů ji využily *Telharmonium*, *Hammondovy varhany* kapitola 1.2, či z klasických nástrojů varhany. V digitální podobě různé pluginy a syntetizéry. [20][22]

2.2 Subtraktivní (rozdílová) syntéza

Dá se říct, že rozdílová syntéza je opakem syntézy aditivní. Můžeme si ji představit jako oscilátor s filtrem. Oscilátor generující komplexní signál s bohatými harmonickými strukturami a filtr již části těchto harmonických ubírá či zvýrazní. Dalším příkladem je vznik lidského hlasu anebo zvuku hudebního nástroje. Tón má velice bohaté základní spektrum, jeho složky jsou však dále potlačovány či zvýrazňovány kmitočtovými filtry. Ty rozkládají signál na několik základních průběhů, jimiž jsou obdélník, trojúhelník, pulz atd.

V procesu subtraktivní syntézy nevznikají žádné nové harmonické složky, což může být samo o sobě omezující. Proto bývá doplněna dalšími modulačními metodami. Na realizaci je však velice jednoduchá a účinná, což zajistilo její oblibu a komerční úspěch.

Klasickou ukázkou využívající subtraktivní syntézu jsou Moogy *Minimoog*, Korg *MicroKorg* a Korg *MS-20*. Nechybí ani bezpočet softwarových pluginů např. Native Instruments. [21][22]

2.3 Modulační syntéza

Modulační syntézu si představíme z rovnice pro harmonický průběh:

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

kdy U_m je amplituda, ω je úhlová frekvence a φ je fáze signálu. Pokud se některá z těchto hodnot mění v čase periodicky, můžeme tenhle děj označit jako modulaci.

Při modulaci se využívá pojmů, které je dobré pro pochopení objasnit. Tyto čtyři základní pojmy jsou:

Nosný signál (nosič, carrier) – signál který chceme modulovat modulačním signálem. Stavební kostka celé modulace, pokud nosný signál není nijak modulován, je slyšen normálně.

Modulační signál (modulátor) – také nazýván jako modulátor, signál, který mícháme s nosným. Nemusí se nacházet ve slyšitelném pásmu, ale výsledný alterovaný signál sluchově rozeznáme. Pomocí modulátoru měníme buď amplitudu, frekvenci nebo fázi původního signálu.

Modulovaný signál – je název pro finální výsledek použité modulace.

Modulační index – poměr mezi modulačním signálem a nosičem. Údaj říkající, do jaké míry bude nosný signál ovlivněn.

Modulační index je důležitý parametr v modulačních syntézách. Pokud je index nízký, modulační efekt bude jemný a nebude obsahovat moc bohatých postranních složek. Při vyšším indexu se zvuk stává bohatší na postranní pásma a formují se komplexní tónové barvy.

Modulační metoda stojí na nelinearitě celé modulace. Ve spektru je možnost vidět jak samostatné složky nosného a modulačního signálu, tak i jejich součty, rozdíly a násobky dohromady tvořící hutný a komplexní výsledný signál, který bývá ve většině případů neharmonický. Ten může mít tónový nebo šumový charakter v závislosti na poměrech přítomných frekvencí.

2.3.1 Amplitudová modulace

Amplitudová modulace upravuje v reálném čase amplitudu, tedy okamžitou výchylku nosného signálu. Pokud signál modulujeme modulačním signálem s frekvencí pod prahem slyšení, výsledný modulovaný signál bude mít houpavý charakter. Příkladem v praxi je využití nízkofrekvenčního oscilátoru LFO pro vytvoření periodicky zeslabovaného a zesilovaného dojmu, při intenzivnější modulaci evokuje přerušovaný zvuk. Efekt se nazývá tremolo.

V amplitudově modulovaném spektru se nám zobrazí i násobky rozdílů frekvencí nosné a modulační frekvence. Pro příklad, pokud budeme mít sinusový signál o frekvenci 100 Hz a modulační signál o frekvenci 125 Hz zobrazí se také složky na 75 i 125 Hz a jejich násobky. Při amplitudové modulaci nemusíme použít pouze sinusový průběh, mohou se využít i signály jako obdélníkový nebo pilový.

Speciálním případem amplitudové modulace je kruhová (ring) modulace, ta postrádá složku nosného signálu.

2.3.2 Frekvenční modulace

Při frekvenční modulaci modulační signál mění frekvenci nosného signálu. Frekvenční modulace vyčnívá od ostatních modulací, protože zvuky produkované FM syntézou můžou mít komplikovaná spektra, a přitom budou složeny jen ze dvou sinusoid. Výsledek je vesměs nepředvídatelný a může spočívat na metodě pokus a omyl, jedná-li se o kombinaci složitějších průběhů. V případě skládání sinusoid se dá výsledek vypočítat.

Pokud frekvenčně modulujeme nosný signál modulátorem o frekvenci do 20 Hz (modulujeme pomocí LFO) získáme efekt zvaný vibrato. Jak moc bude nosný signál modulován udává modulační index. Zvyšováním modulačního indexu přestaneme vibrato vnímat a již vnímáme zvuk frekvenčně modulovaný, typicky zvonivý. Dosáhne-li modulační index vysokých hodnot, začnou vznikat bohatá spektra s novými složkami a bohatá postranní pásma.

Použití složitějších průběhů (obdélníkový, pilový) vede k vytvoření bohatších spekter.

FM syntéza je analogově složitá, náročná a poměrně drahá na uskutečnění. Až s rozmachem digitálních nástrojů se začala více používat, díky překvapivě malé zátěži na procesor.

První komerčně úspěšný syntezátor využívající FM syntézu byl *Yamaha DX-7*. Moderní FM syntezátor např. od *Native Instruments FM8* umožňuje zapojit dle libosti všech svých 8 operátorů.

2.4 Další typy syntéz

Samozřejmě existují i další typy syntéz, které pouze stručně přiblížíme pro celkovou plnost kapitoly. Jedná se o digitální syntézy:

Wavetable syntéza – též nazývána jako tabulková syntéza, má v paměti uloženu jednu periodu základního signálu – sinus, obdélník, pila i šumy jako je bílý atd. Uživatel si volí příslušné průběhy, které se potom přehrávají ve smyčce.

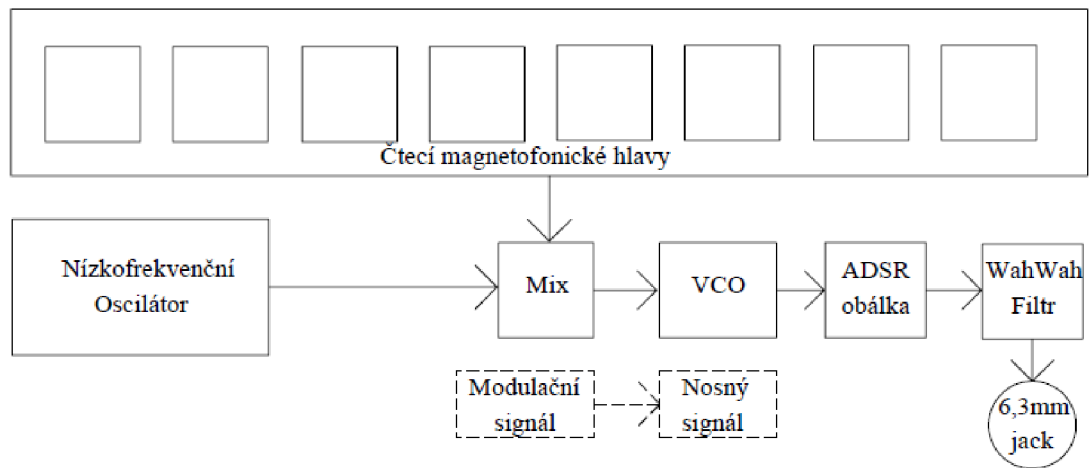
Granulární syntéza – na rozdíl od wavetable syntézy granulární syntéza skládá zvuk pomocí „zrn“ o délce 1 až 1000 ms, které jsou poskládány za sebe a přehrány. Implementuje se jednoduchá obálka, aby výsledek byl lépe zpracovatelný. Barva a charakter záleží na použitých vzorcích.

Fyzikální modelování – název nám napovídá, že zvuk vytváříme na základě fyzikálního modelu. Nástroje jsou specifikovány různě – velikost a tvar, tvrdost materiálů např. strun atd. Tyto specifikace jsou dále převedeny na matematické modely. Můžeme třeba kombinovat části nástrojů, které by v reálu nikdy kombinovat nešly. [22]

3. PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části se zabývám návrhem dílčích částí nástroje, popisu jejich vlastností a jeho ovládáním.

Nástroj je inspirován samplerem a je založen na principu magnetofonu. Tento magnetofonový sampler má 8 vzorků nahraných na páskách. Pásky jsou otáčeny motorkem, který má neměnnou rychlost a hráč si má možnost navolit hlasitost jednotlivých magnetofonových pásků. Signál ze vzorků je společně s výstupem nízkofrekvenčního oscilátoru vedený přes směšovač do obvodu, kde frekvenčně moduluje vstup audio oscilátoru. Signál dále pokračuje přes generátor ADSR obálky a do efektu WahWah. Výstup nástroje je skrze 6,3 mm konektor, který se zapojí např. do kytarového komba, či zvukové karty.



Obr. č. 10 Blokové schéma sampleru

Rozměry jsou při pohledu 40x30x21 cm (šířka x hloubka x výška). Uživatelské rozhraní se nachází ve spodní polovině, kde najdeme potenciometry pro nastavení hlasitosti daných pásků a ovládání dalších parametrů syntetizéru.

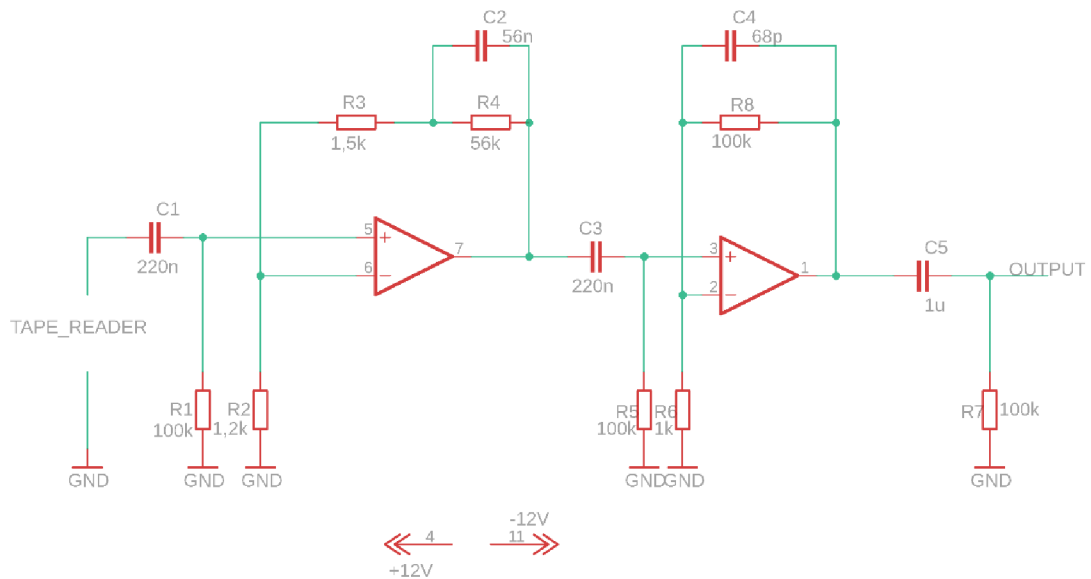
3.1 Napájení sampleru

Dílčí obvody a jejich operační zesilovače jsou vypočítány na napájení symetrických 12 V. Toho jsem dosáhl pomocí symetrizátoru napětí, který je napájen adaptérem s výstupem 24 V střídavých. Rozsah tohoto zdroje je nastavitelný od 1 V až po přibližných 28 V a nastavuje se skrze trimry. Zdroj je také vybaven LED diodami pro signalizaci chodu obou výstupů. Napětí potřebné k napájení sampleru jsem nastavil pomocí zapojeného multimetru na přibližných -12 V a +12 V.

3.2 Snímání magnetofonické pásky

V kapitole 1.3 je stručně popsán princip magnetofonické pásky a jejího snímání. Samotný výstup ze snímací hlavy však není dostatečně velký (přibližně 200–500 mV), aby se dal přímo reprodukovat, proto je potřeba ho zesílit.

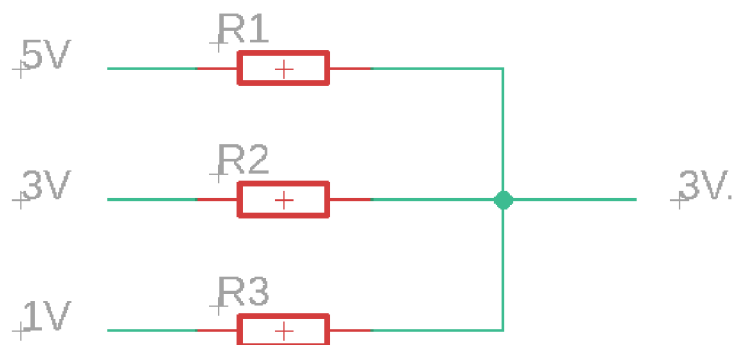
K tomu se využije zesilovač zobrazený na Obr. č. 11. Obvod zesiluje napětí z hlavy v souladu s RIAA korekcí a výstupní napětí by mělo být okolo 1 V RMS (efektivní hodnoty). Výstupní kondenzátor C5 není klasický keramický, ale byl použit fóliový kondenzátor.



Obr. č. 11 Snímač magnetofonické pásky spolu se zesilovačem [16]

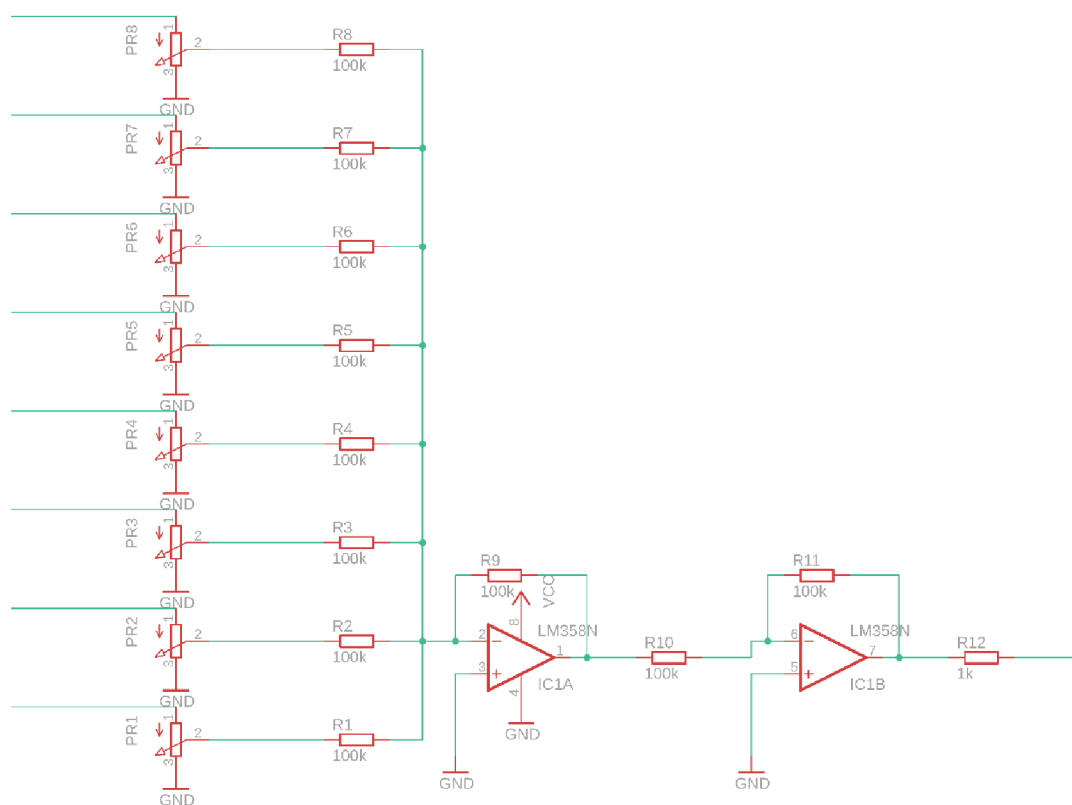
3.3 Audio mixér

Po sejmutí signálu z magnetofonické pásky se musí signály dovést do syntetizéru. Na výběr je možnost využít aktivní, či pasivní mixování signálu. Pasivní mixování využívá rezistorů jakožto děličů napětí. Pokud jsou přivedeny rozdílné hodnoty, výstupem mixéru bude průměr hodnot. Tenhle způsob není úplně ideální z hlediska mixování, protože pokud nastane situace, že přivádím jen jeden signál, tak místo toho, aby byl reprodukován ve stejné hodnotě je zeslaben zbylými neaktivními signály.



Obr. č. 12 Pasivní mixér

Pro návrh je tedy zvoleno aktivní mixování, kdy za napěťový dělič přidáme pár operačních zesilovačů. Na invertující vstup prvního operačního zesilovače přivádíme výstupy z magnetofonových hlav a nízkofrekvenčního oscilátoru a ty jsou odečítány od kladného vstupu a poté vynásobeny ziskem (gainem) zesilovače. Zpětnovazební smyčka slouží jako stabilizátor, který se vždy snaží vyrovnat napětí k hodnotě 0 V. Na výstupu prvního zesilovače dostáváme invertované napětí, které není ideální, ale vyřeší se tak, že druhý operační zesilovač zapojíme opět jako invertující. Tímhle na výstupu získáme zesílené, nepřevrácené napětí (Obr. č. 12).



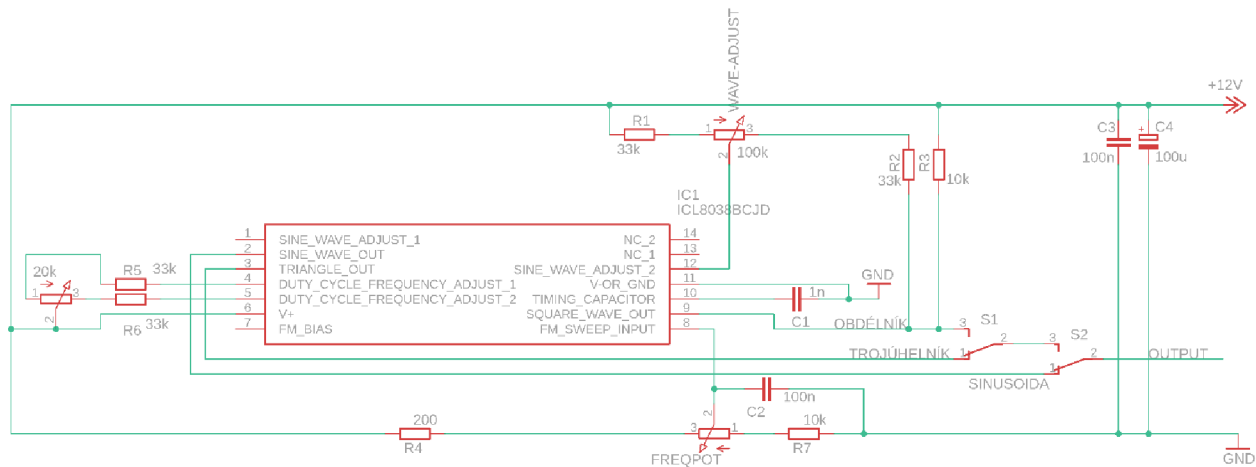
Obr. č. 13 Audio mixér

Před přivedením do mixéru se dá nastavit hlasitost jednotlivých prvků.

3.4 Audio oscilátor

Pod názvem audio oscilátor se skrývá pouze frekvenční rozmezí, ve kterém oscilátor pracuje, tudíž 40 Hz – 20 kHz. Existují i další oscilátory a ty jsou nízkofrekvenční, kapitola 3.5 nebo vysokofrekvenční, jež generují signály v rozsahu rádiových frekvencí (přibližně 100 kHz – 100 GHz).

Obvod je založený na čipu ICL8038, který už sám o sobě je generátorem nejen sinusového průběhu, ale také obdélníkového a trojúhelníkového. Potenciometr „WAVE-ADJUST“ nastavuje parametr zkreslení sinusového průběhu na výstupu. Rezistory R5 a R6 společně s potenciometrem upravují střihu. Pomocí potenciometru „FREQPOT“ se nastavuje požadovaná frekvence, ale ta bude konstantě fixovaná na 2500 Hz. Velkou roli hraje kondenzátor C1, jeho hodnota určuje frekvenční rozsah oscilátoru (v mém případě 0,5-5kHz).



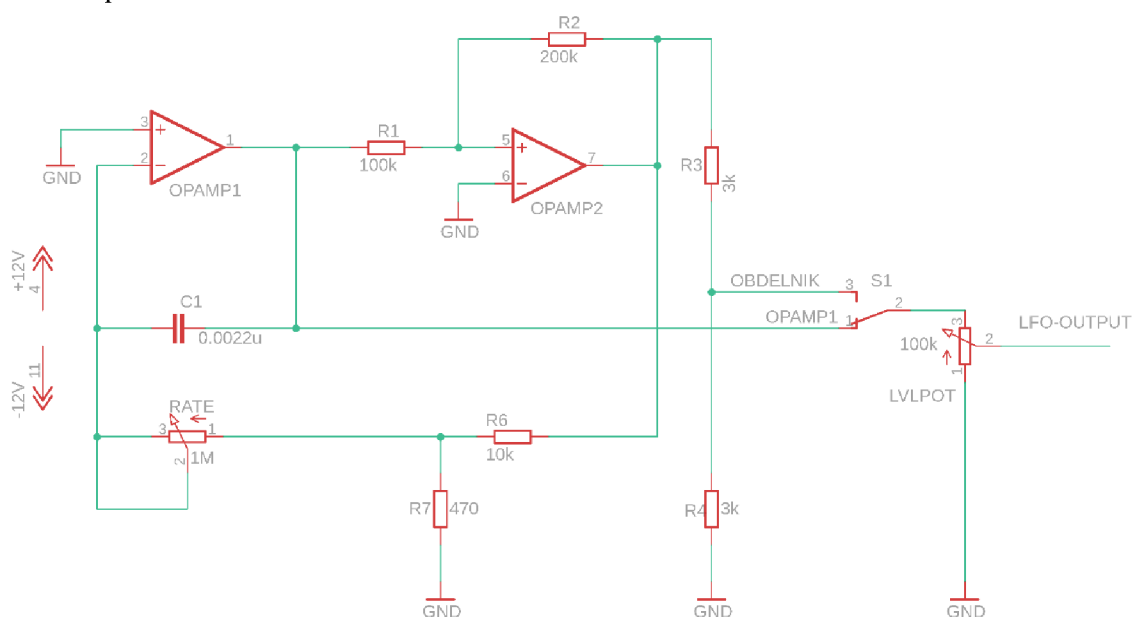
Obr. č. 14 Audio oscilátor

Oscilátor umí generovat více průběhů, a proto může sloužit k širšímu experimentování při FM syntéze.

3.5 Nízkofrekvenční oscilátor (LFO)

Třetí složkou experimentálního nástroje je nízkofrekvenční oscilátor. Tyto oscilátory jsou přítomné již ve všech syntetizérech. Od normálního oscilátoru se odlišuje jeho frekvenčním rozsahem, protože kmitá pod prahem slyšení v rozmezí od 1 Hz do 40 Hz. Je využíván k modulaci nosného signálu, jako spínač ADSR obálky, řidič parametru cut off u filtů atd.

Pro tenhle experimentální nástroj je zvolen LFO oscilátor, který generuje obdélníkový nebo pilovitý průběh, který se dá volit přepínačem S1 a povede spolu se signálem z pásek do mixéru.



Obr. č. 15 Nízkofrekvenční oscilátor

OpAmp1 je operační zesilovač, který v zapojení s kondenzátorem C1 představují integrátor a zároveň generátor trojúhelníkového průběhu. OpAmp2 funguje jako komparátor pro řízení strmosti integrátoru a zároveň poskytuje obdélníkový výstup oscilátoru. Výstupním potenciometrem se nastavuje výstupní hladina napětí.

3.6 ADSR Obálka

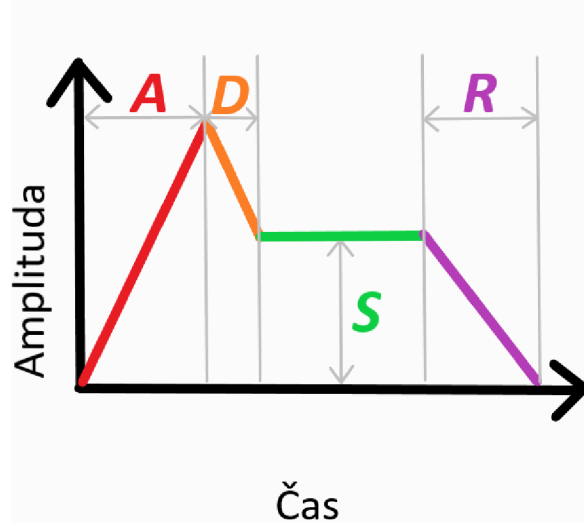
Dalším obvodem syntetizéru je generátor obálky. Svým způsobem jde o filtr, který ovlivňuje čtyři parametry:

Attack (A) – doba, za kterou hlasitost dosáhne své maximální hodnoty.

Decay (D) – doba, za kterou hlasitost klesne ze svého maxima na úroveň určenou parametrem *Sustain*.

Sustain (S) – úroveň, která se udržuje po parametru *Decay*.

Release (R) – doba klesnutí hlasitosti na minimum po uvolnění klávesy.



Obr. č. 16 Časový průběh ADSR obálky

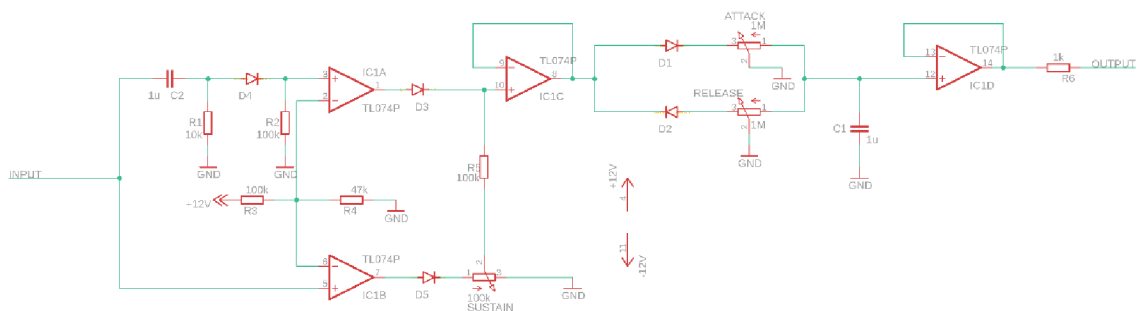
Typů obálek je celá řada a dělí se podle parametrů, které používají:

AR, ASR, ADR, ADDR.

Složitější obálky kombinují i další složky např. AHDSR, která implementuje parametr Hold mezi Attack a Decay fází.

Existuje mnoho variací elektrických obvodů na generátor ADSR obálky. Může se jednat o zapojení se dvěma NAND (Not-And) hradly, či dnes rozšířenější verze, která používá místo hradel a klopného obvodu časovač 555, jež je vybaven těmito funkcemi.

Rozhodl jsem se ovšem použít v rámci experimentování jiný generátor ADSR obálky.



Obr. č. 17 Generátor ADSR obálky

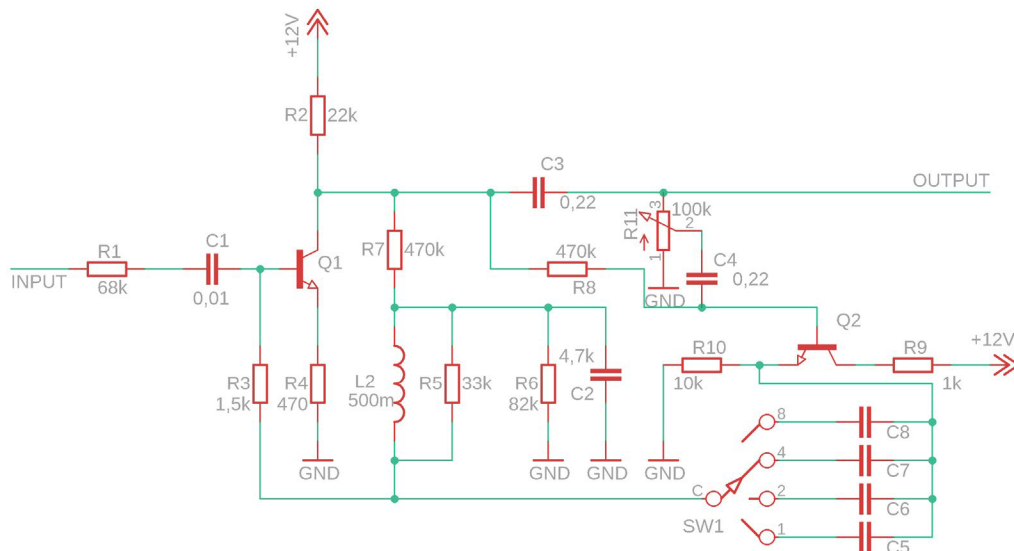
Základem generátoru je nabíjení a vybíjení kondenzátoru C1. Diody D1 a D2 fungují jako usměrňovače proudu jdoucího z výše zmíněného kondenzátoru. Tímhle dosáhneme, že při nabíjení kondenzátoru poteče proud skrze diodu D1 do potenciometru Attack. Při vybíjení proud využije cestu s diodou D2. Pro jistotu se před A/R obvod implementoval buffer sestavený z operačních zesilovačů. Rezistor R6 funguje jako pojistka před zkratem z dalších obvodů. IC1A a IC1B jsou operační zesilovače v zapojení komparátoru. Jejich referenční napětí je nastavováno pomocí rezistorů R3 a R4. Před vrchním komparátorem je zabudovaná horní propust spolu s diodou filtrující kladné hodnoty signálu. Diody D3 a D5 blokují průchod zápornému výstupu komparátorů.

Jelikož se kondenzátor C1 vybíjí stejnou cestou, potenciometr Release nastavuje i parametr Decay.

3.7 WahWah efekt

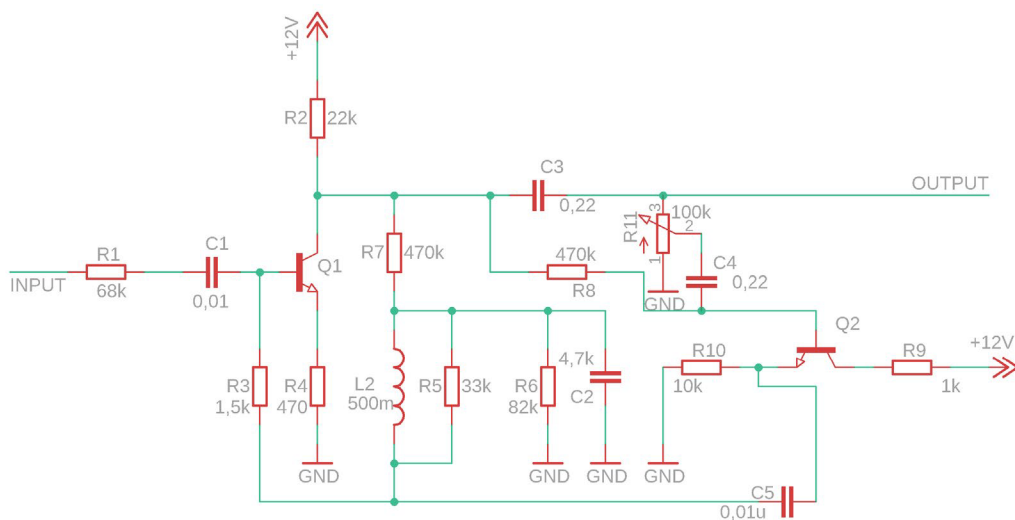
Jako poslední složku nástroje je zvolen efekt WahWah. Jedná se o pásmovou propust, která je frekvenčně pohyblivá nahoru i dolů, což vede ke vzniku tzv. „kvákání“.

WahWah filtr vzniklo v šedesátých letech minulého století a za dobu jeho existence přibýly různé úpravy a modifikace, nejčastější z nich je přepínatelný rozsah. Podle velikosti kondenzátorů se bude lišit rozsah záběru (sweep range). Menší hodnoty pohnou rozsah nahoru, větší naopak dolů. [10]



Obr. č. 18 WahWah s přepínatelným rozsahem

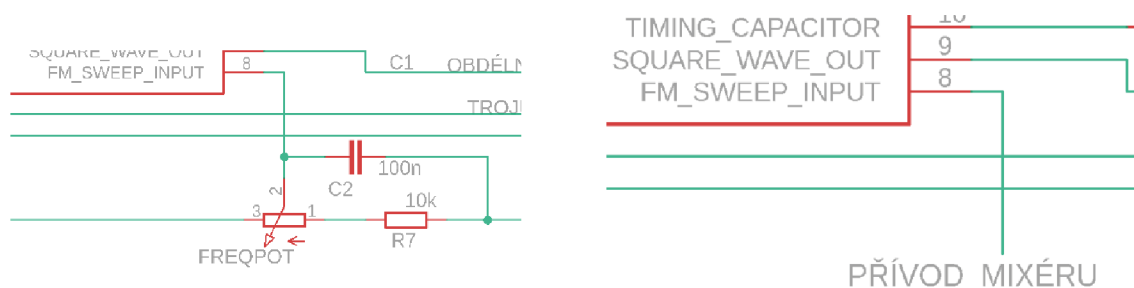
Pro účel nástroje použijí starý návrh WahWah filtru bez modifikací.



Obr. č. 19 Obvod WahWah filtru

4. REALIZACE

Při revizi návrhu obvodu ze semestrální práce došlo k chybě v obvodu syntetizéru, konkrétně ve frekvenční modulaci. Původní návrh totiž signály z magnetofonových hlav, LFO a audio oscilátoru přiváděl do společného mixéru a tím pádem by docházelo pouze ke sčítání jednotlivých signálů, ne jejich modulaci. Problémem je i to, že signál jdoucí z pásků není možné přímo frekvenčně modulovat. Z kapitoly o frekvenční modulaci (2.3.2) víme, že výstupem jednoho oscilátoru modulujeme vstup druhého oscilátoru. Pokud aplikujeme tuhle myšlenku na sampler, můžeme vnímat pásky jako modulační oscilátor a audio oscilátor jako nosič. V manuálu pro čip ICL8038 [24] je uvedený pin číslo 8 pro úpravu frekvence. V návrhu se frekvence mění potenciometrem, ale můžeme tenhle vstup využít samostatně pro modulaci, pokud bude výstup z mixéru dostatečně velký (přibližně do 12 V). Samotný oscilátor nosné frekvence je fixně nastaven na výstupní frekvenci 2500 Hz.



Obr. č. 20 Oscilátor před úpravou a po úpravě

4.1 Výroba skříňky pro umístění sampleru

K vnější ochraně obvodů a magnetofonových pásků byla navržena skříňka, která je inspirována podobou starých modulárních syntetizérů, zejména Moogů. Jejich design kombinuje dřevo a zakomponované plechové, či plastové elementy.

Schránka byla tedy zkonstruována ze dřeva s rozměry 40x30x21 cm (Šířka x Hloubka x Výška). Zezadu jsou umístěna otevírací dvířka, aby měl uživatel přístup k manipulování s páskami a ta jsou zajištěna magnetickými plíšky.

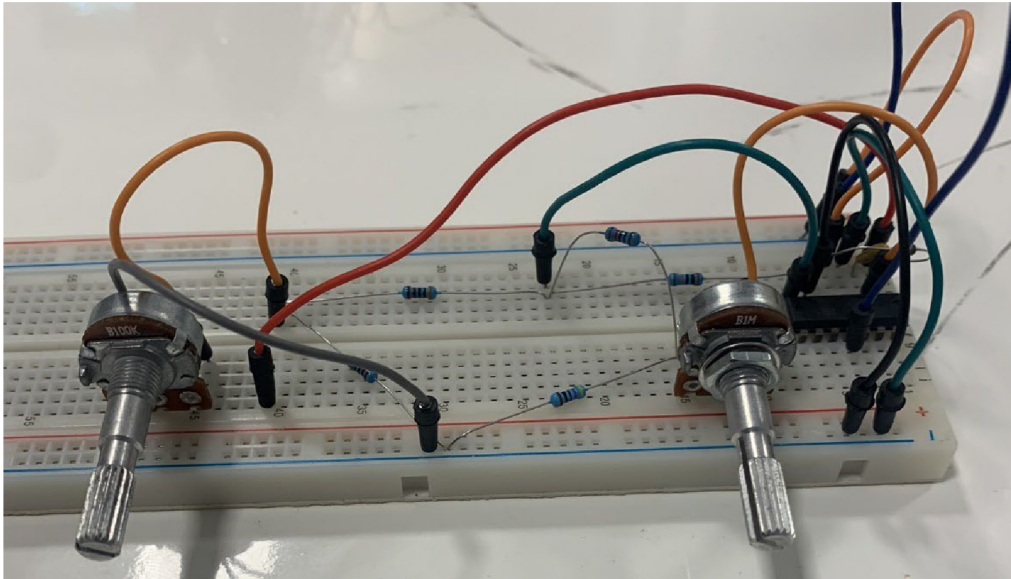
Kvůli dalším možným ruchům z použití plechových panelů bylo rozhodnuto využití panelů plastových. V přední části se nachází rozhraní pro obsluhu syntetizéru a audio mixéru. Vše je umístěno na zakaleném plexiskle, které jsem vytvořil zabroušením průhledného plexiskla.

Jednotlivé pásky jsou nataženy mezi dvěma kolečky o průměru 5 cm, která jsou od sebe vzdálena 10 cm. Délka pásky na jednu smyčku vychází na 36 cm.

4.2 Osazení nepájivého pole obvodu

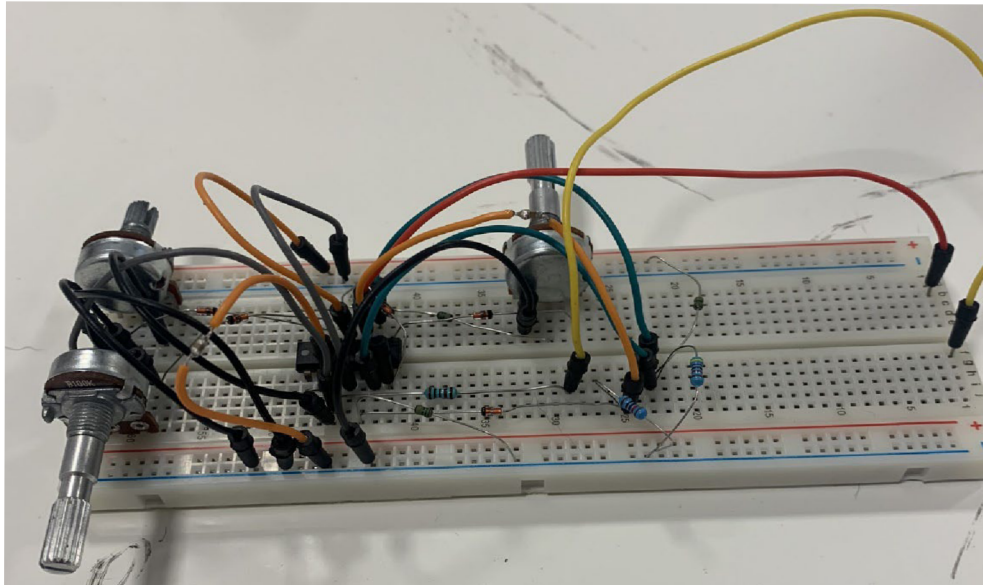
Jelikož je celý syntetizér velký, musely se obvody nejprve jeden po druhém osázet na nepájivé pole (breadboard) a poté měřit multimetrem napětí v různých segmentech.

Začalo nízkofrekvenčním oscilátorem jako prvním obvodem. Zkompletovaný oscilátor byl připojen na zdroj a měřil nárůst za prvním operačním zesilovačem. Otáčením potenciometru pro změnu rychlosti oscilátoru se měnila i rychlost nárůstu. Místo přepínače jsem na nepájivém poli měnil průběhy pomocí žluté propojky.



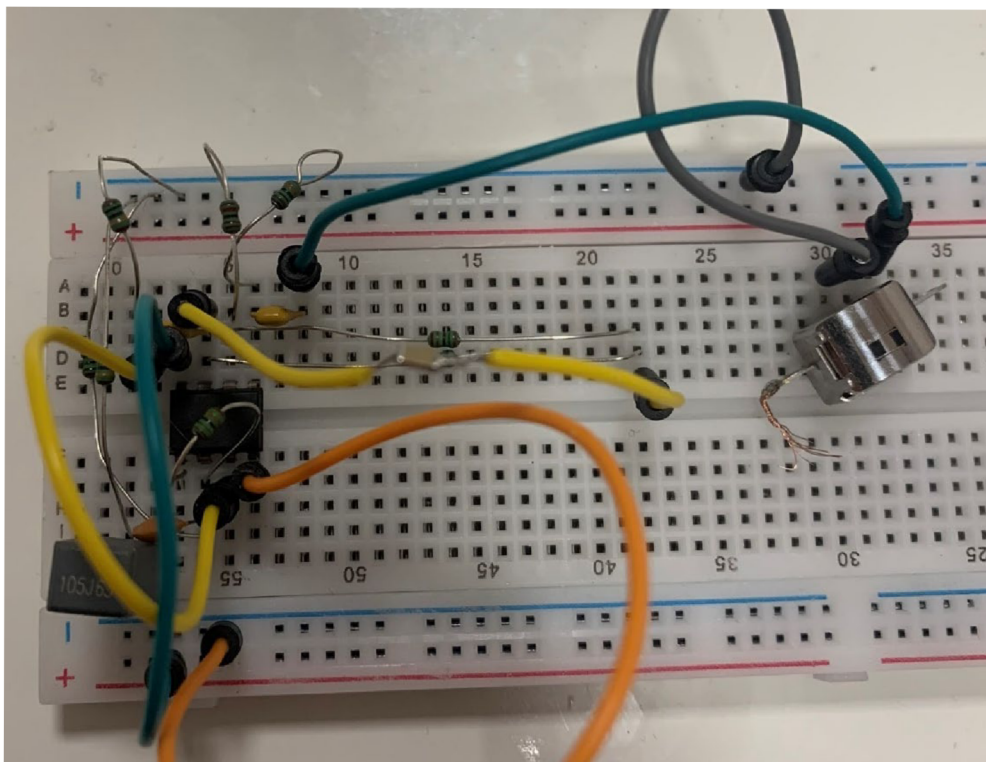
Obr. č. 21 LFO na nepájivém poli

Další položkou bylo zkoušení audio oscilátoru a jeho tří průběhů. Při zkoušení byla zapojená i část s potenciometrem, která se později odstranila (viz Obr. č. 19). Před připojením na zdroj jsem se ujistil, zda je vše zapojeno, jak má, protože čip, na kterém je postavený celý obvod nebyl snadno k dostání. Volení výstupu jsem byl nucen navrhnout přes dva přepínače v zapojení ON-ON z důvodu nenalezení přepínače ON-ON-ON.



Obr. č. 22 Audio oscilátor na nepájivém poli

Stěžejní položkou je magnetofonová hlava a její zesilovací obvod. Jeho zesílení na nepájivém poli bylo zkoušeno pomocí platební karty, která má na sobě magnetický pásek. Ten je ovšem několikanásobně silnější, než běžný magnetofonový pásek, což by odpovídalo výstupním hodnotám, které byly okolo 3 až 5 V.



Obr. č. 23 Zesilovač na nepájivém poli

4.3 Problémy s realizací

Po vyzkoušení obvodů na nepájivém poli nastal čas tyto obvody zrealizovat na plošný spoj. Jako pájivé pole byly vybrány univerzální plošné spoje, kde každá část syntetizéru vycházela na jednu destičku o rozměrech 7x3 cm. Moduly syntetizéru byly následně mezi sebou spojeny drátky a vyvedeny na výstupní zdířku 6,3 mm jacku. Při připojení na zdroj vypadalo vše v pořádku, ovšem po připojení na reproduktor a následné kytarové kombo nebyl slyšet žádný zvuk. U kontroly zdroje bylo zpozorováno zhasínání LED diody u záporného výstupu, což může znamenat vysoký odběr nebo selhání někde po cestě v obvodu.

Při další kontrole mixéru signálů bylo zjištěno, že mixér nepropouští žádný signál přicházející ze zesilovačů a LFO. Zapojení zesilovače v mixéru bylo zkontrolováno, ale nebyly nalezeny žádné chyby, takže příčina byla pravděpodobně špatná volba operačního zesilovače nebo špatné navržení. Je možné, že aby bylo dosaženo zesílení v mixéru, je potřeba čipu, který je navržen na napájení ± 12 V DC a nejen na +12 V a zem.

Obvod pro magnetofonické pásky fungoval v očekávaných mezích, jen kvůli použití delších neodstíněných drátků se díky citlivosti snímacích hlav v drátcích indukují impulsy a rušivé šumění.

Po kontrole magnetofonických hlav jsem se přesunul na nízkofrekvenční oscilátor, kde bylo očekáváno fungování celého modulu. Při přiložení multimetru bylo ale naměřeno, že výstupní hodnota napětí se nemění a zůstává v kladných hodnotách. Nastalo tedy hledání příčiny chyby. Zapojení sedělo podle schématu i podle referenční fotky z breadboardu, z čehož vyplývá, že chyba musela být někde jinde. Měření na výstupu prvního operačního zesilovače se jevilo jako normální do doby, než se napětí ustálilo na cca 5 V, poté mělo začít klesat na -5 V, což se nestalo. Zkouška výstupu druhého operačního zesilovače hned po zapojení skočila na zmíněných 5 V, a to by se stát nemělo. Při pájení a následném oživení pravděpodobně došlo k poruše integrovaného obvodu, a proto nefunguje zpětnovazební smyčka.

Zbylé obvody ADSR obálky a WahWah fungují tak, jak byly navrženy.

Zpětná kontrola směšovače ukázala problém s výstupním drátkem, který byl zlomený. Při měření výstupního pinu operačního zesilovače se ukázalo, že signál je zesílen, jen chyběl kontakt s dalším obvodem. Změnou prošel nízkofrekvenční oscilátor, kterému byl vyměněn integrovaný obvod z TL074CN na NE5532P. Nestačilo jen vyměnit čip, bylo potřeba jej naletovat na nový kus spolu s dalšími novými součástkami. Výměnou nízkofrekvenčního oscilátoru se stabilizoval i zdroj, takže je pravděpodobné, že předešlý vadný integrovaný obvod si bral více proudu než potřeboval.

4.4 Možné hudební využití

Využití nástroje hluboce závisí na výběru prvků (samplů) nahraných na magnetofonické pásky. Má původní myšlenka byla na první čtyři pásky nahrát základní průběhy, jimiž jsou sinusoida, obdélník, trojúhelník nebo pila a bílý šum. Zajímalo mě, jak kombinování signálů ovlivní výsledný frekvenčně modulovaný zvuk. Jaký výstupní zvuk dostanu, když použiji smyčku nahraného nástroje (bicích, klavíru)? Zajímavé by bylo použití zvuků jdoucích z nástroje, což je náročnější z hlediska výsledku, jelikož ten nejprve musíme nahrát, zeditovat a opětovně nahrát na pásek. Z toho důvodu se většina času stráví děláním smyček než samotným experimentováním. Záleží tedy na hráči, jestli si vystačí s omezenými možnostmi, přeci jen svázanost nutí k větší kreativitě. Tato nevýhoda nástroje je jeho největší slabinou. Hráč je omezen jen na předem vybrané smyčky, které není schopen měnit za chodu. U akustických nástrojů máme při interpretaci možnost změny stylu hraní, u strunných nástrojů hraní rukou, trsátkem, smyčcem, u bicích nástrojů jsou to různé paličky. U magnetofonického sampleru se nabízí možnost manipulace s páskami, jejich zrychlování, zpomalování ovlivňující výšku tónu.

Využití nástroje si nedokážu představit v klasickém hudebním uskupení, ať už se jedná o orchestr nebo rockovou skupinu. Nejlépe by se dal uplatnit v experimentální hudbě, především tzv. noise music, kde převládá užívání expresivního hluku v hudebním kontextu. Další využití se dá najít v žánru zvaným minimalismus, který si zakládá na použití periodického opakování omezeného množství prvků (rytmických, melodických nebo harmonických). Jak bylo zmíněno výše, záleží na vybraných smyčkách, je možné si zvolit kombinaci zvuků dokreslujících plnost skladby k vytvoření ambience.

Pro samplý jsem zvolil základní průběhy sinus, obdélník a pilu. Při nahrávání demo snímku jsem přišel k poznatku, že ADSR obálka nefungovala, protože konstantní signál přiváděný na její vstup ji nespustil a signál tak prošel beze změny do WahWah filtru. Ve zmíněné nahrávce jsem k nosnému signálu nejprve přiváděl jednotlivé prvky, které jsem potom smíchal v různém poměru. Další položkou bylo LFO, to vytvořilo změny ve výšce produkovaného tónu, místy připomínající kouřový alarm nebo sirénu. Na reprodukci můžu pozorovat metalický zvuk typický pro frekvenční modulaci, ale i šum přicházející hlavně ze snímacích hlav a dalších dílčích obvodů, který je v částech zesilován i filtrem WahWah.

Dokážu si představit i připojení externích efektů za výstup sampleru. První efekt, co mi přijde na mysl je delay právě pro tvorbu podkladového prostoru nebo místo delaye echo, či mírnější reverb. Nebál bych se využít zkreslení, ať už by se jednalo o jemné nebo tvrdší limitování průběhu, snižování vzorkovacího kmitočtu tzv. bit-crushing. Zajímavá by byla implementace wave-folderu, efektu, který překlápí signál při překročení nastavené hranice (to je ideální případ, v reálu dojde k rozkmitání signálu a

jeho následného převrácení). Výběr efektů, co se mohou připojit za sampler je nekonečná řada, tohle byl výběr, se kterým bych experimentoval já.

Nejnáročnějším bodem manipulace s nástrojem je výměna magnetofonových pásků, ty nejsou umístěny v nějaké univerzální kazetě, a proto hrozí riziko jejich poškození nebo roztrhnutí a je potřeba být při přemísťování velmi opatrný. Samotná obsluha již není nijak obtížná a nevyžaduje velké hudební znalosti. Stačí jen zapojit sampler do zásuvky a experimentovat podle libosti.

ZÁVĚR

Bakalářská práce obsahuje čtyři hlavní kapitoly. V první je rozdělení nástrojů podle jejich principu a funkce na základní kategorie a subkategorie. Uvedené jsou také příklady nástrojů z vybraných kategorií – elektromagnetické, magnetofonické a elektronické. Výběr byl založen na myšlenkovém vývoji experimentálního hudebního nástroje a také na vlastnostech sdílených s nástrojem. V druhé kapitole byly popsány druhy syntéz – součtová, rozdílová, modulační a digitální. V modulační byly přiblíženy amplitudová a frekvenční modulace. Frekvenční modulace zásadní, protože její princip je využíván v nástroji. Digitální syntéza je popsána jen okrajově – wavetable, granulární syntéza a fyzikální modelování. Ve třetí kapitole je popsán návrh podoby nástroje a jak bude operován spolu s návrhem dílčích elektrických obvodů syntetizéru. Pro využití FM syntézy byl navržen oscilátor s třemi výstupními průběhy – sinusoida, obdélník, trojúhelník. Dalším modulačním prvkem byl nízkofrekvenční oscilátor, který bude přiváděn spolu se signály z magnetofonových hlav do výše zmíněného audio oscilátoru. Pomocí generátoru ADSR obálky a WahWah filtru lze dále upravovat výstupní signál. Ten je veden výstupní zdírkou 6,3 mm jack do např. kytarového komba, zvukové karty nebo jiného reprodukčního zařízení. Čtvrtá kapitola zahrnuje postup finální realizace a výsledné poznatky z konstrukce. Sepsány jsou zde i možné hudební použití a obsluha sampleru.

Důvodem komplikací byla špatná volba plošných spojů, které, místo univerzálních, mohly být zvoleny přesně tištěné. Měla být brána větší zřetel na výběr propojovacích drátků. Mnou zvolené byly tvrdší, než bylo potřeba a byly hodně náchylné na lámání. Přes veškeré překážky se sampler nakonec zprovoznil se třemi fungujícími hlavami.

V průběhu realizace mě napadly další rozšíření sampleru. Jako první například implementací efektové smyčky, která dokáže nabídnout více zvukových variací podle konkrétních preferencí hráče. Dále mě napadlo upravit poslední dvě záznamové pásky o přepisovací hlavy. Díky tomu by se na ně mohl přivést sepnutím tlačítka nebo přepínače signál, který by se mohl zaznamenat. Odpoutám-li se od mechanicko-elektrického principu, bylo by výhodnější a efektivnější využít digitální paměť na přehrávání samplů, vytvořit hybridní experimentální nástroj. Přidání kláves k vytvoření větší melodičnosti oscilátoru by nástroji určitě pomohlo.

LITERATURA

- [1] FORRÓ, Daniel. *Musitronika: elektroakustické hudební nástroje 1*. Brno: Janáčkova akademie múzických umění v Brně, 2004. ISBN 80-854-2939-X.
- [2] GUŠTAR, Milan. *Elektrofony: historie, principy, souvislosti*. Praha: Uvnitř, 2008. ISBN 978-80-239-8447-7.
- [3] *Telharmonium* [online]. 2011, [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.historyofrecording.com/Telharmonium.html>
- [4] Tónové kolo Teharmonia. In: *Syntmuseum* [online]. 2000 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.synthmuseum.com/magazine/0102jw.html>
- [5] Theremin. In: *Classic FM* [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.classicfm.com/discover-kvákadlo/latest/weirdest-musical-instruments/theremin/>
- [6] *Mellotron news* Markus Resch [online]. 2011 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.mellotron.com/prices.htm>
- [7] Hammond organ. In: *American Blues Scene* [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.americanbluesscene.com/2011/02/behind-the-keys-the-hammond-b3-organ/>
- [8] Ondes Martenot. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Ondes_Martenot
- [9] *Moog Synthesizers* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.moogmusic.com/products/model-10>
- [10] Minimoog. *Electronic Music Wiki* [online]. 2019, [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: https://electronicmusic.fandom.com/wiki/Minimoog#The_Definitive_Article:_Model_D
- [11] *The Technology of Wah Pedals* R.G. Keen, [online]: 1999 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: http://geofex.com/Article_Folders/wahpedl/wahped.htm
- [12] Historie elektronických nástrojů. *Old-School Electronic Music* [online]. 2009, 28.6.2009 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <http://elektronicka-hudba.telotone.cz/clanky/historie-elektronickyh-nastroju>

- [13] *Synt Historie: Historie elektronických nástrojů* [online]. 2005 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <http://www.bodyia.cz/historie-elektronickych-nastroju>
- [14] Elektrofony XX – do historie elektromechanických nástrojů. *Muzikus* Milan Guštar, [online] 9.4.2010 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://www.casopismuzikus.cz/workshopy/elektrofony-xx-do-historie-elektromechanickych-nastroju>
- [15] *Music From Outer Space* Ray Wilson, [online] 2015 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <http://musicfromouterspace.com/>
- [16] Playback Amplifier For Cassette Deck. *Learning Electronics* [online]. [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://www.learningelectronics.net/circuits/playback-amplifier-for-cassette-deck.html>
- [17] Audio signal mixing. *Elliott Sound Products* [online]. 1998–2022, 27.12.2010 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://sound-au.com/articles/audio-mixing.htm>
- [18] MATTHEW, Terry. Atomic Age Drum Machines: the Ghost Orchestras of Harry Chamberlin. *5Mag.net* [online]. 2005, 13.8.2019 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://5mag.net/gear/audio-archeology/first-drum-machine-chamberlin-rhythmate/>
- [19] *ICL8038 Datasheet* [online]. Intersil [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/INSL/INSL-S-A0001411793/INSL-S-A0001411793-1.pdf?hkey=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0>
- [20] TEOCHARISOVÁ, Vanda. Sound Design II – Způsoby syntézy zvuku – aditivní syntéza. *Muzikus* [online]. 5.2.2008 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.casopismuzikus.cz/workshopy/sound-design-ii-zpusoby-syntezy-zvuku-aditivni-synteza>
- [21] TEOCHARISOVÁ, Vanda. Sound Design III – subtraktivní syntéza a PM syntéza. *Muzikus* [online]. 9.4.2008 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <https://www.casopismuzikus.cz/workshopy/sound-design-iii-subtraktivni-synteza-pm-synteza>
- [22] Metody zvukové syntézy. *Old-School Electronic Music* [online]. Telotone, 2013 [cit. 2022-12-11]. Dostupné z: <http://elektronicka-hudba.telotone.cz/clanky/metody-zvukove-syntezy>

- [23] FM Tone Generators and the Dawn of Home Music Production. *Yamaha USA* [online]. [cit. 2022-12-12]. Dostupné z:
https://web.archive.org/web/20170511080846/http://usa.yamaha.com/products/music-production/synthesizers/synth_40th/history/chapter02/
- [24] ICL8038 Datasheet. AllDataSheet.com [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/67443/INTERSIL/ICL8038.html>

SEZNAM ZKRATEK

- LFO Nízkofrekvenční oscilátor
ADSR Attack, decay, sustain, release obálka
FM Frekvenční modulace
AM Amplitudová modulace

SEZNAM SOUČÁSTEK

Součástka	Hodnota/specifikace	Jednotka	Množství
Rezistor	100K	Ω	54
Rezistor	10k	Ω	4
Rezistor	200k	Ω	1
Rezistor	3k	Ω	2
Rezistor	4,7k	Ω	3
Rezistor	470	Ω	2
Rezistor	47k	Ω	1
Rezistor	1k	Ω	14
Rezistor	68k	Ω	1
Rezistor	1,5k	Ω	9
Rezistor	22k	Ω	1
Rezistor	470k	Ω	2
Rezistor	33k	Ω	1
Rezistor	82k	Ω	1
Rezistor	1,2k	Ω	8
Potenciometr	100k	Ω	3
Potenciometr	1M	Ω	3
Potenciometr	10k	Ω	9
Potenciometr	20k	Ω	1
Tahový pot.	100k	Ω	1
Kondenzátor	1u	F	3
Kondenzátor	2,2n	F	1
Kondenzátor	1n	F	1
Kondenzátor	100n	F	1
Kondenzátor	100u	F	1
Kondenzátor	220n	F	16
Kondenzátor	56n	F	8
Kondenzátor	68p	F	8
Kondenzátor	0,01	F	1
Kondenzátor	0,22	F	2
Kondenzátor	0,01u	F	1
Kondenzátor	4,7u	F	1
Kondenzátor	4700u	F	2
Kondenzátor	470u	F	2
Tranzistor	BD243	-	1
Tranzistor	BD244	-	1
Tranzistor	2N3094	-	1
Přepínač	SPDT	-	3
Cívka	500m	H	1
Integrovaný obvod	LM358N	-	2
Integrovaný obvod	ICL8038CCPD	-	1
Integrovaný obvod	TL074P	-	2
Integrovaný obvod	NE5532P	-	8
Jack mono	6,3	mm	1

SEZNAM PŘÍLOH

Podoba nástroje

Sestavený nástroj

Obvod nástroje část A

Obvod nástroje část B

Flashdisk s nahrávkou nástroje

Sestavený nástroj



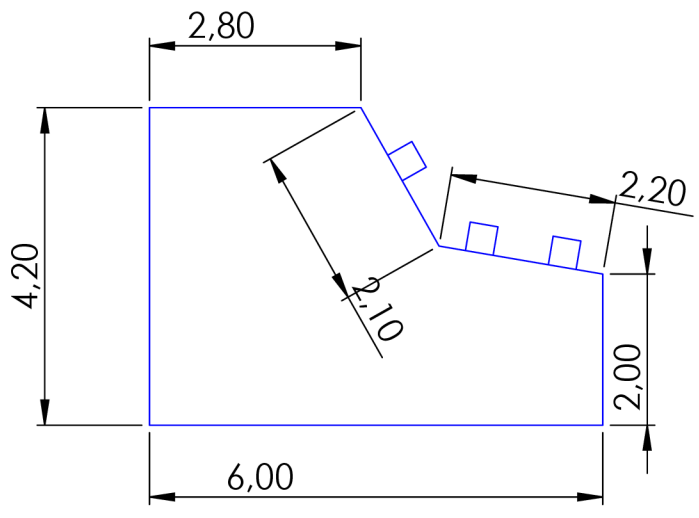
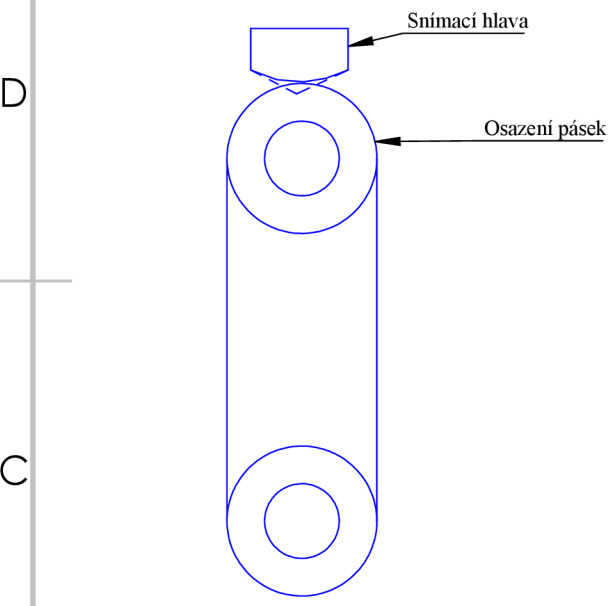
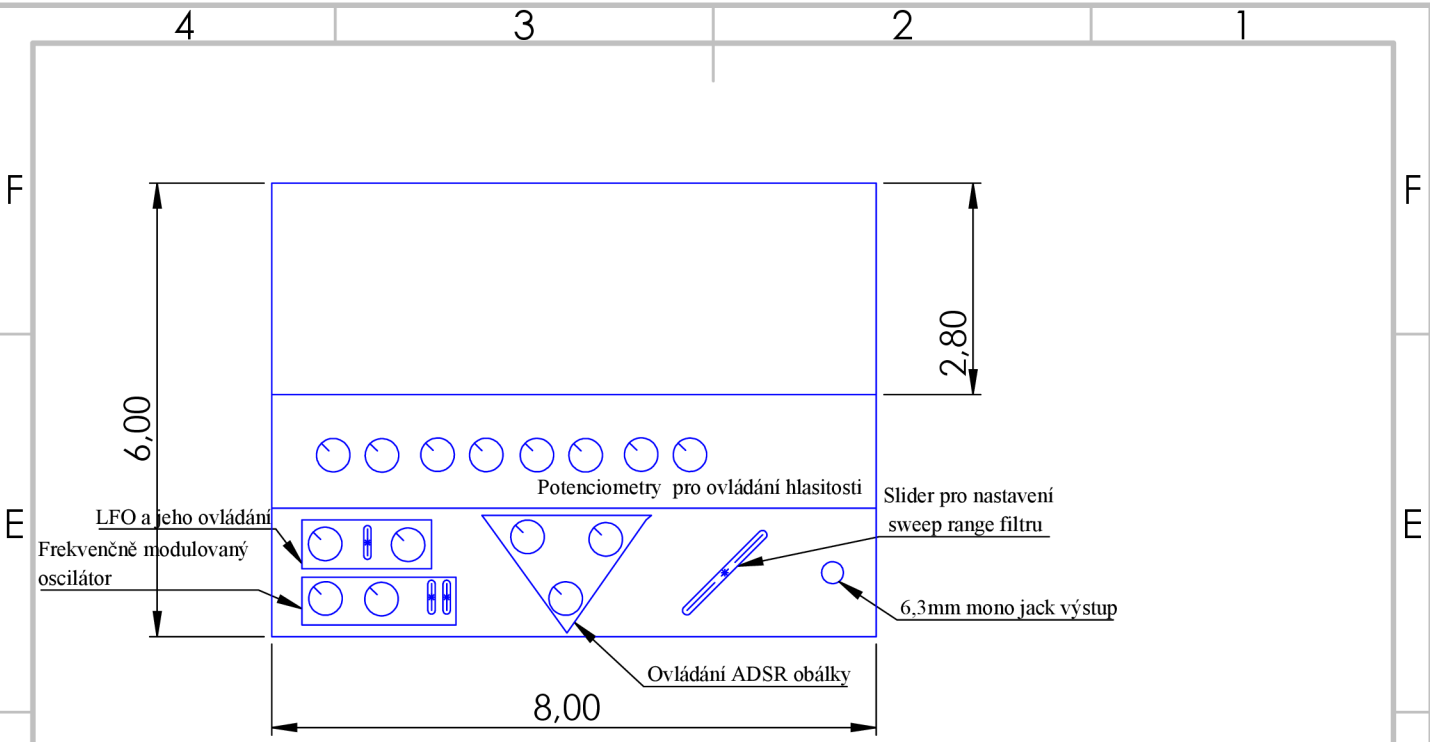
Obr. č. 24 Skříňka nástroje – pohled z boku



Obr. č. 25 Skříňka nástroje – pohled zezadu



Obr. č. 26 Předpřipravený přední panel



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
 DRSNOST:
 TOLERANCE:
 LINEÁRNÍ:
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
 OSTRÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL			
PŘEZKOUŠEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

 Č. VÝKRESU
Podoba nástroje A4
 MĚŘÍTKO 1:5
 LIST 1 Z 1 LISTŮ

