

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Přehled analogových syntezátorů**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2013/2014

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub MAJER**  
Osobní číslo: **E13B0130P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Přehled analogových syntezátorů**  
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte historii vzniku a vývoje analogových syntezátorů.
2. Vytvořte přehled analogových syntezátorů různých výrobců a jejich možností.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

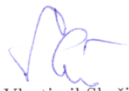
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.**  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

  
Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Vlastimil Škočil, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analogové syntezátory. Jejím cílem bylo vytvořit přehled historického vývoje analogových syntezátorů, popsat jednotlivé syntézy, které byly využívány těmito syntezátory a představení možností dnešních analogových syntezátorů.

## **Klíčová slova**

Syntezátor, Telharmonium, Audion Piano, Theremin, Martenotovy vlny, Spherophone, Wave Organ, Trautonium, Hammondovy varhany, Ondioline, Solovox, Clavioline, Tuttivox, RCA Mark II, Mellotron, Moog Modular Synthesizer, Buchla 100 Series Modular Electronic Music System, Minimoog D, CMI, DX7, aditivní syntéza, subtraktivní syntéza, FM syntéza, Minimoog Voyager, KORG MS-20 mini.

## **Abstract**

The presented bachelor thesis is focused on analog synthesizers. The objective of this thesis was to create review of historical development of analog synthesizers, describe the various syntheses, which were used by those synthesizers and present possibilities of current analog synthesizers.

## **Key words**

Synthesizer, Telharmonium, Audion Piano, Theremin, Ondes-Martenot, Spherophone, Wave Organ, Trautonium, Hammond Organ, Ondioline, Solovox, Clavioline, Tuttivox, RCA Mark II, Mellotron, Moog Modular Synthesizer, Buchla 100 Series Modular Electronic Music System, Minimoog D, CMI, DX7, additive synthesis, subtractive synthesis, FM synthesis, Minimoog Voyager, KORG MS-20 mini.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 9. 6. 2014

Jakub Majer

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

V neposlední řadě mi je milou povinností poděkovat rodičům, kteří mě jak morálně, tak finančně během celého studia podporovali, a všem vyučujícím, kteří se na mém vzdělání na ZČU podíleli.

## Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 HISTORIE ELEKTRONICKÝCH NÁSTROJŮ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Telharmonium .....	11
1.2 Audion Piano .....	12
1.3 Theremin.....	13
1.4 Martenotovy vlny .....	14
1.5 Spherophone .....	15
1.6 Wave Organ.....	15
1.7 Mixtur-Trautonium.....	16
1.8 Hammondovy varhany.....	17
1.9 Ondioline.....	18
1.10 Solovox .....	19
1.11 Clavioline.....	19
1.12 Tuttivox.....	20
1.13 RCA Mark II .....	21
1.14 Mellotron .....	21
1.15 Moog Modular Synthesizers .....	22



---

<b>1.16</b>	<b>Buchla 100 Series Modular Electronic Music System.....</b>	<b>23</b>
<b>1.17</b>	<b>Minimoog D.....</b>	<b>24</b>
<b>1.18</b>	<b>CMI .....</b>	<b>24</b>
<b>1.19</b>	<b>DX7 .....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>SYNTÉZA ZVUKU.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Součtová (aditivní) syntéza .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2</b>	<b>Rozdílová (subtraktivní) syntéza.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>FM syntéza .....</b>	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>ANALOGOVÉ SYNTEZÁTORY V DNEŠNÍ DOBĚ .....</b>	<b>30</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>32</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>33</b>

## **Seznam zkratek**

např. – například

tzv. – tak zvaný

OSC – oscilátor

VCA – Volume Controlled Amplifier

FM – frekvenční modulace

## Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analogové syntezátory. Text v této práci je rozdělen na tři části.

První část se zabývá historií vzniku a vývojem analogových syntezátorů. Tento přehled popisuje období v rozmezí 90. let 19. století až po 80. léta 20. století. Je zde popsána struktura jednotlivých syntezátorů a jejich přínos.

Druhá část popisuje jednotlivé typy syntézy zvuku, které tyto analogové syntezátory využívaly.

Třetí část se zaměřuje na analogové syntezátory v dnešní době.

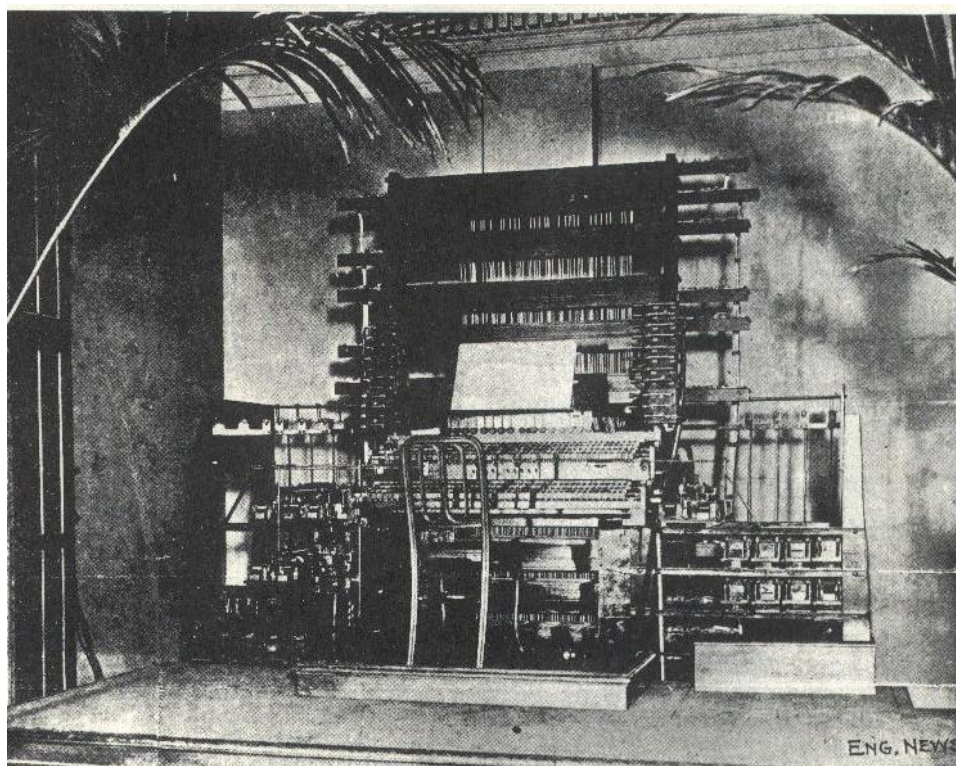
# 1 Historie elektronických nástrojů

Historický vývoj elektronických nástrojů je v podstatě hledání a zdokonalování mechanismů, prostředků a principů pro vytváření hudby s cílem zlepšení jejich zvukového projevu, zvýšení rozsahu nebo hlasitosti, usnadnění hry, získání nové zvukové barvy popř. dosáhnutí dalších možností výrazu. V počátcích 20. století vznikala řada nástrojů, které by se i dnes daly označit za jedinečné. Stále nás udivují tím, jak jsou unikátní a také jejich řemeslným zpracováním. V této době byly nástroje z větší části mechanické, což v té době znamenalo, že byly velmi těžké a prostorově rozměrné, proto byly pro většinu hudebníků finančně náročné až nedostupné. Některé nástroje dnes již upadly v zapomnění, odkaz některých nástrojů ale přežívá i v dnešní době a to nejenom pro jejich specifický a unikátní zvukový dojem, ale především pro jejich zasloužilé místo v historickém vývoji elektronických nástrojů. Již existující nástroje se upravují a vznikají nové, které využívají netradičních technik hraní. Ve 20. století se objevily nové nástroje i nezvyklé herní techniky. Teoretici, hudebníci a skladatelé hledali různé nové zvukové a výrazové prostředky. Zcela nové možnosti pro konstrukci hudebních nástrojů přineslo rozšiřování znalostí o elektřině a magnetismu a s ním související rozvoj elektrotechniky a elektroniky. [1, 2]

## 1.1 Telharmonium

Za předchůdce elektronických hudebních nástrojů se dá považovat **Telharmonium** (označovaný také jako **Dynamophone**). Nástroj vynalezl kanadský vědec Thaddeus Cahill, který si ho v roce 1897 nechal také patentovat. Cahill postavil celkem tři verze. První verze, označovaná jako Mark I, vážila 7 tun, zatímco Mark II vážila skoro 200 tun a zabírala 18m<sup>2</sup>. Náklady na stavbu nástroje se pohybovaly kolem 200 000 dolarů. Tento nástroj byl schopen transportu, ale k jeho převozu bylo zapotřebí 6 vlakových vagónů. Nástroj byl polyfonní a používal dynamickou klávesnici, kde jako oscilátory bylo použito 145 speciálně upravených dynam s induktoři, které pomocí aditivní syntézy produkovaly zvuky různých barev ve formě elektrických signálů. Klávesnice byla sedmioktávová, členící každou oktávu na 36 kláves. Pohon nástroje byl velmi hlučný, tudíž se musel nacházet v jiné místnosti. V roce 1893 Cahill začal provádět pokusy s přenosem hudby po telefonních linkách. Zjistil, že když na telefonní sluchátko namontuje trychtýřový zvukovod a přivede do něho dostatečně silný elektrický signál, bude ho možné použít pro hlasitou reprodukci hudby. Cahill založil společnost New

England Electric Music Company a začal přenášet převážně vážnou hudbu do veřejných prostor, restaurací či kaváren. Poslední model Mark III byl dokončen v roce 1911, který byl větší a dražší než předchozí modely. Obsahoval silnější magnety a mnohem více dynam k redukci basového dunění a poklesů hlasitosti. Projekt byl zastaven s nástupem první světové války. I když měl nástroj mnohé nedokonalosti, našel si svoje skladatele, např. Edgarda Varese, Luigiho Rusola a Ferruccio Busoniho. Podobný princip byl později použit i do Hammondových varhan. Když byla v roce 1904 vynalezena dioda a poté v roce 1913 trioda (používala se jako oscilátor vyrábějící zvuk), tak mechanický koncept velmi rychle zastaral. [1, 2, 3]



Obr. 1.1 – Telharmonium [21]

## 1.2 Audion Piano

Prvním hudebním nástrojem, který pracoval výlučně elektronicky, bylo **Audion Piano**, které si v roce 1915 nechává patentovat Američan Lee De Forest, vynálezce první verze triody, kterou pojmenoval Audion. Právě tato trioda Audion byla základní součástí celého nástroje. Měl je zapojené v obvodu jako oscilátory, které produkovaly elektromagnetické vlny na určité frekvenci. Tyto vlny byly posílány do reproduktorů. Každá oktáva měla pouze jeden Audion, takže mohla být zahrána pouze jedna nota na oktávu. Zvuk tohoto nástroje dobová

literatura popisuje jako: "Nástroj produkující zvuk podobný houslím, cellu, flétně, žesťovým nástrojům a zvuky další, nepodobné ničemu, co jste kdy slyšely." [3]. Nástroj bohužel zněl falešně. Neudržel totiž ladění a tak konstruktéři dalších nástrojů se raději zaměřili na neklávesové ovládání, kde problematická stabilita výšky tónu tolik nevadila. [3, 4]



Obr. 1.2 – Audion Piano [7]

### 1.3 Theremin

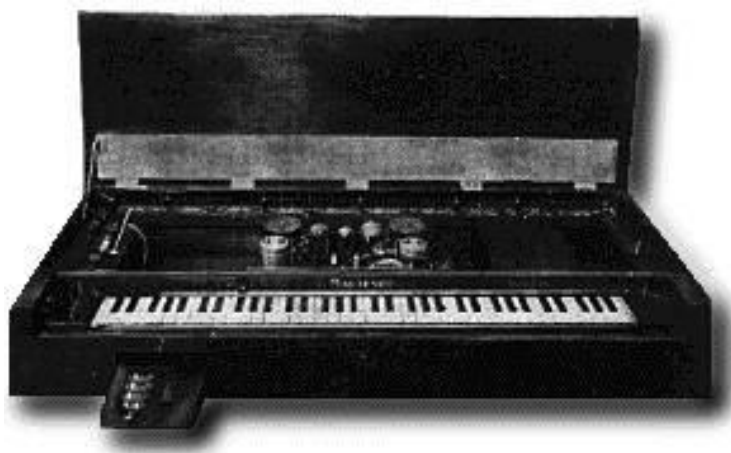
Fyzik a violoncellista Lev S. Termen (známý také jako Léon Thérémin) představil nástroj **Aetherophone** (dnes pojmenovaný po svém vynálezci - **Theremin**) v roce 1920. Je to jednohlasý nástroj bez klávesnice se dvěma anténami a je ovládán pouze pohybem paží, dlaní a prstů. Nástroj používá dva oscilátory, které jsou naladěné na vysoké, neslyšitelné frekvence. Jeden oscilátor je fixně nastaven na 170 kHz, druhý je variabilní, s možností nastavení frekvence v rozmezí 168 kHz – 170 kHz. Když hráč přiblíží ruku k anténě, tak se díky kapacitě lidského těla mění frekvence oscilátoru, čímž dojde k rozladění obvodu a k produkci rozdílového a již slyšitelného tónu v rozsahu E2 až c5. Zvuk má sinusový charakter, vzdáleně připomínající smyčcové nástroje. Druhou anténou se nastavuje hlasitost zvuku. Theremin je dodnes používaný nástroj a má řadu příznivců i skladatelů, např. neteř Lva Termena, Lydia Kavina. [1, 3]



Obr. 1.3 – Theremin [22]

#### 1.4 Martenotovy vlny

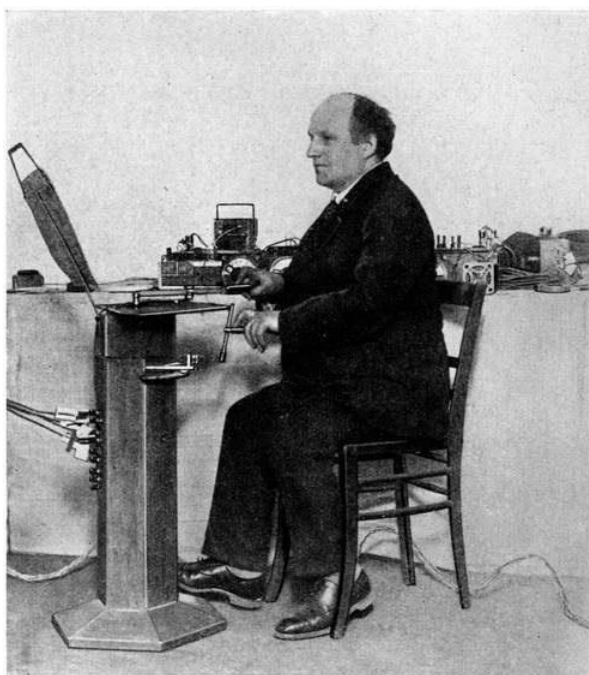
Lev Termen se v roce 1923 setkává s Mauricem Martenotem a ukazuje mu princip svého nástroje. Martenot se poté rozhodl sestavit všestranný elektronický nástroj pro klasické hudebníky a tak vznikl nástroj nazývaný **Martenotovy vlny**. Martenot tento nástroj prezentuje v pařížské Opeře roku 1928. Nástroj fungoval na principu Thereminu, byl monofonní a měl sedmioktávovou klávesnici. Na rozdíl od Thereminu byl variabilní oscilátor fixně naladěn pro každou klávesu zvlášť. Tónovým zdrojem byly dva vysokofrekvenční generátory a tónový rozsah nástroje byl F1 až c5. Měl také filtry, s jejichž pomocí se dalo měnit zabarvení zvuku. Zvuk byl vysílán pomocí reproduktoru se třemi difusery. Tento nástroj se používal až do 50. let a byl pro něj zkomponován široký repertoár. Toto byl první použitelný syntezátor, který se dodnes prodává v digitálním provedení. [3, 5]



Obr. 1.4 – Martenotovy vlny [3]

## 1.5 Spherophone

Další nástroj na principu podobném Thereminu byl Electrophone. Vynalezl ho Němec Jörg Mager v roce 1921. Oproti Thereminu zde byla možnost měnit zabarvení a výšku produkovaného zvuku. V roce 1926 Mager vynalézá druhou verzi tohoto nástroje a pojmenovává ji **Spherophone**. Tato verze už měla klaviaturu, používala vysokofrekvenční oscilátor a byla schopná přehrát i čtvrttón. Mager také experimentoval s různými typy reproduktorů, aby dosáhl různých zvuků. [3, 6, 7]



Obr. 1.5 – Spherophone [6]

## 1.6 Wave Organ

První automatický elektrický nástroj představili v Paříži v roce 1929 Eduard E. Coupleux a Joseph A. Givelet a byl nazýván **Wave Organ**. Obsluhoval čtyři hlasy podle snímajícího perforovaného papíru jako mechanické piano, ale uměl řídit i změnu výšky tónu, vibrata a změnu barvy tónu. Nástroj měl z počátku úspěch, ale nakonec nebyl komerčně vyráběn, protože podlehl praktičnosti a přenosnosti Hammondových varhan. Stal se ale předlohou pro známý Kent Music Box z počátku padesátých let a ještě důležitější RCA Music Synthesizer. [3, 7]

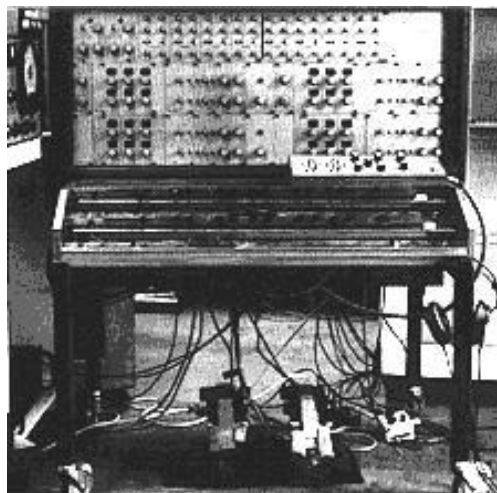




Obr 1.6 – Wave Organ [7]

### 1.7 Mixtur-Trautonium

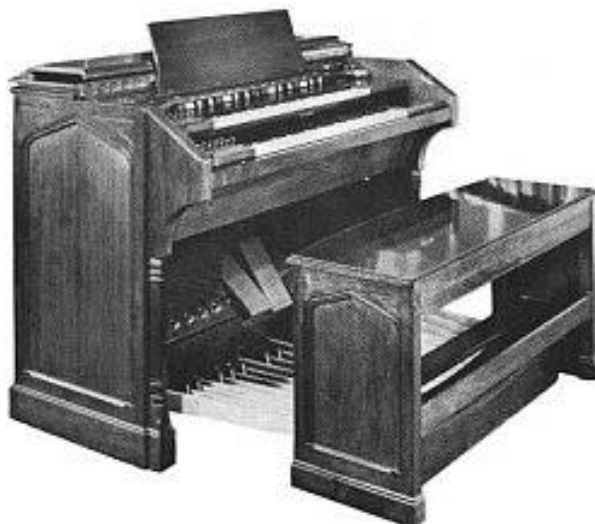
V roce 1930 zkonstruoval Němec Dr. Freidrich Adolf Trautwein monofonní elektronický nástroj **Trautonium**. Základ tvořil zvukový generátor, který produkoval signál pilového průběhu, který se upravoval pomocí filtrů. Místo klávesnice zde byl kovový hmatník s vyznačenými tóny, přes který byl natažen kovový drát. Při stlačení drátu došlo k dotyku s kovovým plátem. Tato změna odporu řídila výšku generovaných tónů. Hlasitost produkovaného zvuku se ovládala nožním pedálem. Nástroj byl tří oktávový, jednotlivé oktávy se přepínaly pomocí přepínače. Německý skladatel Oskar Sala nástroj vylepšil a pojmenoval **Mixtur-Trautonium**. Kovové hmatníky nahradil koženými a později polovodičovými, pro stabilnější ladění a čistější subharmonické frekvence. Přidal také formantový filtr, díky kterému bylo možné generovat samohlásky. Nástroj zaujal mnoho skladatelů, sám Oskar Sala na něj komponoval svojí tvorbu. Obě verze tohoto syntezátoru využívaly subtraktivní syntézu. [3, 7]



Obr. 1.7 – Mixtur-Trautonium [3]

### 1.8 Hammondovy varhany

Prvním syntezátorem, jež využívá nízkofrekvenční oscilace, jsou **Hammondovy varhany**. V roce 1935 je vynalezl Američan Laurens Hammond. Použil podobný princip jako Cahill u svého Telharmonia. Nástroj tedy využíval aditivní syntézu. Místo čistě elektronických oscilátorů se jako generátor tónu používají tzv. fónická kola. Je to soustava 96 ozubených kol, která rotují před elektromechanickými snímači, vytvářející elektrický signál. Tento signál se podobá sinusovému průběhu, jehož frekvenci určuje profil a počet zubů jednotlivých kol. Pomocí aditivní syntézy se sečtou signály z jednotlivých kol a tím vzniká tón o určité barvě. Každé kolečko lze považovat jako samostatný oscilátor. Poměry jednotlivých signálů se nastavují táhly, která jsou umístěna nad klaviaturami. Tyto varhany jsou na svoji dobu komplexní nástroj, který využívá jak elektronkové zesilovače, tak i řadu zvukových efektů. Hlavní nevýhoda těchto varhan je možnost skládání pouze sinusových signálů. Vezmeme-li v potaz použité součástky, tak další nevýhodou bude jednak váha nástroje, ale hlavně jeho křehkost a poruchovost. Elektromechanická verze těchto varhan se vyráběla do poloviny 70. let. Poté se objevili analogové elektronické i digitální nástroje, které napodobují zvuk Hammondových varhan. [3, 5, 8]



Obr. 1.8 – Hammondovy varhany [23]

## 1.9 Ondioline

Na konci 30. let a během 40. let se začaly vyrábět menší elektronické nástroje, které se daly použít jako rozšíření k pianu. První z nich byl **Ondioline**, který začal francouzský technik Georges Jenny v roce 1938 vyrábět. Tento monotónní nástroj měl pružnou klaviaturou, která zvládala tři oktávy a bylo s ní možno pohybovat jak ve svislém, tak i v horizontálním směru. Tlakem stisku kláves se ovládala hlasitost jednotlivých tónů, při pohybu klávesy v horizontálním směru bylo možno vytvořit vibrato. Pro dodatečné ovládání hlasitosti se využívala ještě kolenová páka. Přístroj byl levný, jelikož Jenny nepoužíval kvalitní součástky a proto životnost nebyla dlouhá. [7, 9]



Obr. 1.9 – Ondioline [7]

### 1.10 Solovox

Další z těchto nástrojů začala vyrábět firma Hammond v roce 1940. **Solovox** byl také monotónní a měl klaviaturu o 36 klávesách. Zvuk generoval pomocí oscilátoru, který vytvářel kmity obdélníkových průběhů. Frekvence daného oscilátorů se dala přeladit v rozsahu tří oktáv, pomocí frekvenčních děličů šlo tóny posunout o tři oktávy níž. Celkově měl tento nástroj rozsah až šest oktáv. Barva zvuku se dala upravit pomocí filtrů. Solovox měl ještě oddělenou skříňku se zesilovačem a vlastním reproduktorem. [7, 9]



Obr. 1.10 – Solovox [7]

### 1.11 Clavioline

V roce 1947 vyrobil Francouz Constant Martin nástroj, který nazval **Clavioline**. Nástroj byl monofonní a byl napájen bateriemi. Skládal se ze dvou částí, první byla klaviatura, další ovládací prvky a generátor zvuku. Druhá část se skládala z reproduktoru s vestavěným zesilovačem. Klaviatura měla rozsah tři oktávy, pomocí transpozice bylo možno získat tóny v rozsahu pěti oktáv. Barva zvuku se upravovala pomocí filtrů, hlasitost se řídila kolenovou pákou. V 50. a 60. letech se objevovaly upravené verze tohoto nástroje. Tento nástroj použili např. i The Beatles v některých svých písních. [7, 9]



Obr. 1.11 – Clavioline [7]

### 1.12 Tuttivox

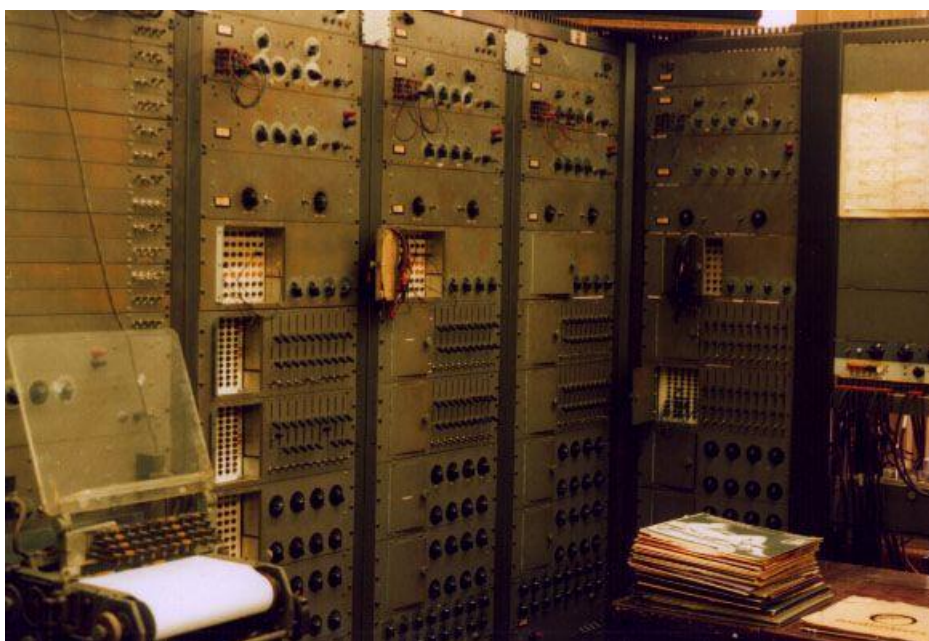
Jednou z těchto upravených verzí je i nástroj **Tuttivox**, který vynalezli Harald Bode a René Seybold v roce 1953. Tento nástroj byla vlastně polyfonní verze Clavioline. Rozsah byl též tří oktávový. Nejvyšší oktávy se generovaly pomocí 12 oscilátorů, nižší oktávy se získávaly pomocí frekvenčních děličů. Barvu zvuku určovaly filtry a hlasitost se řídila kolenovou pákou. K nástroji patřila i reproduktorová skříň se zesilovačem a napájecím zdrojem. [7, 9]



Obr. 1.12 – Tuttivox [7]

### 1.13 RCA Mark II

Američani Harry F. Olsen a Herbert Belar v roce 1954 na univerzitě v Princetonu představují syntetizér **RCA Mark I**. Tento syntetizér byl plně programovatelný pomocí dvou alfanumerických klávesnic a byl první, který byl schopen číst děrné štítky. Nástroj používal 12 oscilátorů, které produkovaly harmonické složky, k vytvoření 12 základních tónů. Tyto základní tóny byly pomocí filtrů, frekvenčních děliček, modulátorů a rezonátorů převáděny na libovolný zvuk. V roce 1959 představují nástupce **Mark II**. V této verzi bylo použito již 24 oscilátorů. Syntetizér byl prostorově rozměrný, měřil 2 metry do výšky a 6 metrů do šířky. Výroba stála 250 000 dolarů. Cena a rozměry byly hlavní důvod, proč byl vyroben pouze jeden exemplář. [3, 10]



Obr. 1.13 – RCA Mark II [3]

### 1.14 Mellotron

Jiným směrem se vydává nástroj **Mellotron**, který v roce 1963 představuje firma Mellotronics. Vycházel z podobného nástroje Chamberlin. Místo syntézy zvuků v reálném čase se zde využívá přehrávání magnetofonových pásek. Každá páska obsahuje zvuk o délce osmi sekund a je přiřazena klávese. Při stisku klávesy byla páska uvedena do pohybu a byl přehrán zaznamenaný zvuk, při uvolnění klávesy se páska převinula na začátek. Výměna jednotky pro změnu zvuku trvala přibližně 2,5 hodiny. Nástroj měl dvě klaviatury po 35 klávesách. Pravá klaviatura sloužila k přehrávání vzorků melodických nástrojů jako např.

smyčce, flétny nebo žestě. Levá klaviatura ovládala 17 rytmů a 18 doprovodů. Nástroj měl různé nedokonalosti, jako např. nepravidelnost pohybu pásku, zkreslení hlav nebo všudypřítomný šum. Ovšem tyto nepravidelnosti dávaly vzniknout unikátnímu zvukovému projevu, který využívaly ve svých skladbách např. kapely Led Zeppelin, Deep Purple, Pink Floyd nebo The Rolling Stones. Principiálně se tento nástroj stal předchůdcem práce se zvukovými vzorky (samplerování). Jelikož byl Mellotron mechanicky složitý, často poruchový a tudíž náročný na údržbu, brzy byl nahrazen digitálními technologiemi, které již využívaly nahrávání do paměti. [1, 3, 7, 11]



Obr. 1.14 – Mellotron [1]

### 1.15 Moog Modular Synthesizers

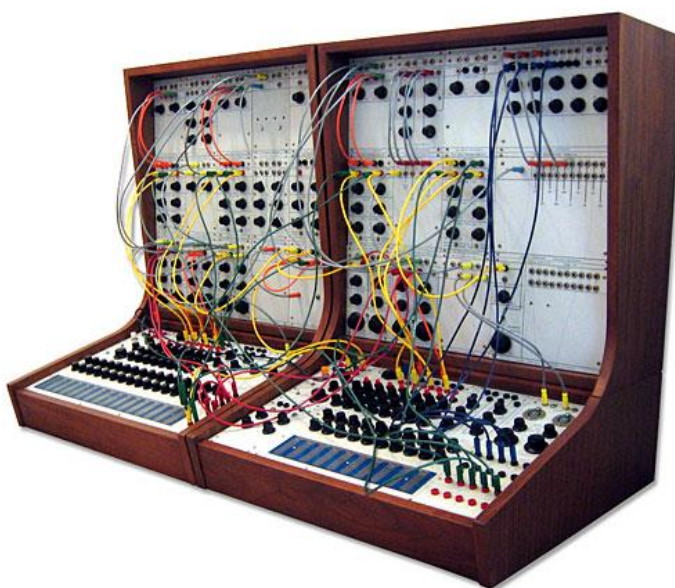
V průběhu 60. let americký vynálezce Robert Moog představuje několik verzí monofonních přístrojů jednoduše označovaných jako **Moog Modular Synthesizers**. Byly to obrovské dřevěné konstrukce, ve kterých byly naskládány různé moduly. Využívá napětím řízené obvody pro generování a zpracování zvuku, a to oscilátor, který neprodukuje už jenom sinusový signál, ale i další typy signálů a zesilovač. Později přidává napětím řízený filtr a další moduly šumu, generátorů obálek nebo zpoždění. Produkovaný zvuk vznikal kombinací nastavení zvukových parametrů pomocí potenciometrů a vzájemným propojením jednotlivých modulů. Celková manipulace s přístroji byla velmi náročná a přístroj kladl vysoké nároky na teoretické znalosti. Zároveň byly příliš drahé, komplikované a jejich sestavení trvalo mnoho času. [1, 7, 9]



Obr. 1.15 – Moog Modular Synthesizer [1]

### 1.16 Buchla 100 Series Modular Electronic Music System

Donald Buchla se stejně jako Robert Moog začal věnovat modulárním syntezátorům. V roce 1963 Buchla sestrojil první verzi modulární syntezátoru **Buchla 100 Series Modular Electronic Music System**. Skládá se z mnoha modulů, které slouží ke generování určitých signálů nebo k specifické úpravě signálu. Každý modul byl vysoký 17,8 cm a široký 10,8 cm. Až 25 modulů bylo možno napájet jedním napájecím zdrojem. Signál byl produkován pomocí oscilátorů (sinusový, pilový nebo obdélníkový signál) nebo pomocí externích zařízení (např. rádio nebo mikrofon). Buchla ve svých syntezátorech používal FM syntézu. Tato syntéza však byla proslavena až firmou Yamaha v roce 1983. Buchla se poté začal věnovat hybridním analogově-digitálním syntezátorům. [12]



Obr. 1.16 – Buchla 100 Series Modular Electronic Music System [12]



### 1.17 Minimoog D

Koncem 60. let Robert Moog začal vývoj kompaktního syntezátoru vhodného pro veřejné produkce. Po mnoha úpravách a testování v roce 1970 představuje **Minimoog D**. Tento syntetizér již neměl modulární koncepci, měl pevně danou vnitřní strukturu, takže oproti Moogovým prvotním syntezátorům měl omezené zvukové možnosti, na druhou stranu bylo značně zjednodušeno jeho ovládání. Klaviatura obsahuje 44 kláves a vedle jsou umístěny spínače a modulační kolečka pro další nastavení. Syntezátor obsahuje tři oscilátory, každý z nich byl schopen generovat šest různých tvarů signálů (obdélník, pilu, trojúhelník, nesymetrický trojúhelník a dva pulsní průběhy rozdílných šířek). Obsahoval také napětím řízený filtr. Pro modulaci sloužil oscilátor nízkých frekvencí a dva generátory obálek. Rozsah byl pět oktáv. [3, 7, 9, 13]



Obr. 1.17 – Minimoog D [1]

### 1.18 CMI

Firma Fairlight představuje v roce 1979 první digitální sampler **CMI**, který pracoval na dvou mikroprocesorech 6800. Převzali princip Mellotronu, ale zvuk se nenahrával na magnetofonové pásky, ale přímo do digitální paměti. Součástí přístroje byl i monitor. Nahraný zvuk bylo možno upravovat a uložit jej na diskety. Přístroj nebyl pro každého, jelikož se jeho cena pohybovala kolem 30 000 dolarů. V 80. letech se rozmohl vývoj digitálních samplerů jakožto předchůdců dnešních moderních syntezátorů. [1, 14]



Obr. 1.18 – CMI [1]

### 1.19 DX7

Japonská firma Yamaha v roce 1983 představuje digitální syntezátor **DX7**, který využívá FM syntézu. Přístroj zaujal svými malými rozměry a cenovou dostupností. Produkovaný zvuk nedosahoval kvalit analogových přístrojů a jeho programování bylo obtížné. Hudebníci byli nadšeni z nových možností a tento přístroj se stal prvním komerčně úspěšným digitálním syntezátorem. Znamenal konec analogové éry syntezátorů a zároveň přenesl výrobu moderních syntezátorů z Ameriky a Evropy do Japonska. Mnoho firem díky tomuto výrobku nakonec zkrachovalo, mezi nimi i firmy Moog Music a ARP. [1, 3]



Obr. 1.19 – DX7 [1]

## 2 Syntéza zvuku

Syntéza zvuku se zabývá řízeným vznikem zvuku. Tento proces vede k vytvoření předvídatelného nebo i nepředvídatelného zvuku. Z tohoto tvrzení lze soudit, existuje nepřehledné a snad i systematizovatelné množství způsobů, jak vytvořit či vyloudit zvuk. Nás však bude zajímat jen několik vybraných, matematicky vyříbených metod, které efektivně naplňují záměr syntézy. [15]

V dnešní době je známá celá řada metod elektronické syntézy. Jednotlivé syntézy nejsou vzájemně nahraditelné a nepokrývají úplný prostor zvuků, které můžeme s jejich pomocí vytvořit. V praxi to znamená, že jednou určitou metodou se nemusíme dostat k finální podobě zvuku, který jsme chtěli vytvořit. [15]

### 2.1 Součtová (aditivní) syntéza

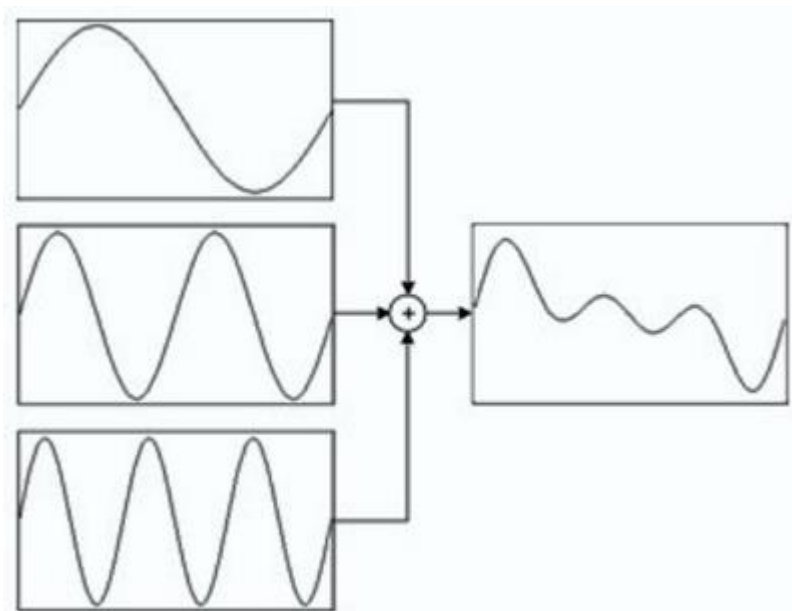
Tato syntéza patří k nejstarším a v minulosti také k nejužívanějším způsobům generování zvukového signálu. Je založena na součtu jednoduchých signálů v časové i frekvenční oblasti, v nejjednodušším případě signálů sinusového průběhu. Součtová syntéza vychází z Fourierova rozvoje periodického signálu. Dle toho rozvoje lze každý signál jakéhokoliv časového průběhu, který vyhovuje Dirichletovým podmínkám (signál je periodický s konečným počtem nespojitostí 1. druhu na uzavřeném intervalu periodicity) rozložit na určitý počet sinusových průběhů, které jsou k sobě v různých amplitudových ( $A$ ), frekvenčních ( $\omega$ ) a fázových ( $\varphi$ ) poměrech - mají různou výšku i sílu. Tyto podmínky splňuje každý reálný signál určité výšky (hudební tón), nemusí je však splňovat každý graficky zadaný průběh (např.  $\text{tg } x$ ). Tento signál si lze poté představit jako součet sinusových signálů, jejichž frekvence je násobkem frekvence rozkládaného tónu. [15, 16]

$$F(t) = \sum_{k=1}^N A_k \sin(k\omega_k t + \varphi_k) \quad (2.1)$$

Většina zvuků obsahuje širší spektrum frekvencí, než je nám nabídnuto. Proto nelze tímto jednoduchým způsobem dosáhnout zásadních rozdílů v barvě zvuku. I přesto má mezi elektronickými nástroji pro svůj ušlechtilý zvuk nezastupitelné místo. Podstatné zlepšení této

metody syntézy přinesly až digitální syntezátory, které umožňují skládání až 128 harmonických a také nastavování neharmonických frekvencí jednotlivých oscilátorů. Dále lze nastavovat časové obálky jak na amplitudu, tak na frekvenci. [17]

Součtová analýza byla použita např. v Telharmoniu, Hammondových varhanách nebo ANS syntezátoru.



Obr. 2.1 – Součtová syntéza [24]

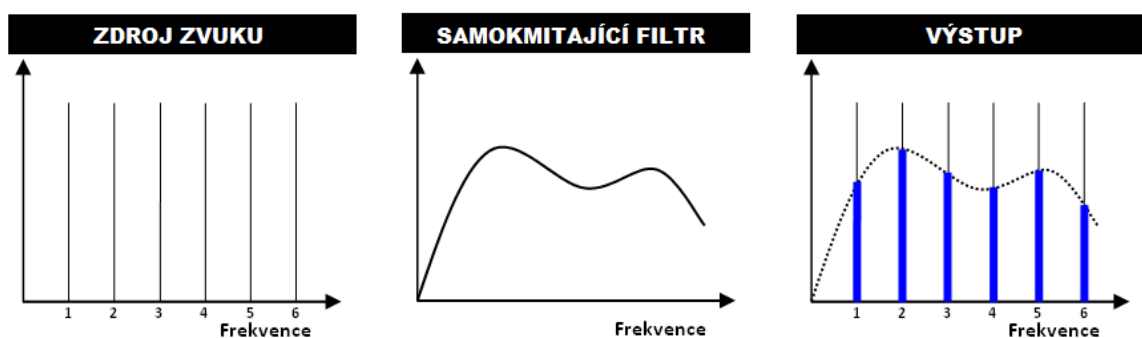
## 2.2 Rozdílová (subtraktivní) syntéza

Pro svoji jednoduchost a vysoké zvukovou účinnost patří tato syntéza mezi nejvyužívanější v komerční sféře. Z historického hlediska se tato syntéza začala ve větší míře objevovat s nástupem napěťového řízení. Byla využita např. Moogových Modulárních syntezátorech a také v populárním Minimoog D z roku 1970. [16]

Rozdílová syntéza je založena na řízené filtraci signálu. Nejdříve vygenerujeme harmonicky bohatý signál (obvykle bílý nebo růžový šum), ze kterého pomocí filtrů odečteme určité frekvence. Tímto způsobem dostaneme požadovaný zvuk. Tento generovaný signál může mít obdélníkový, pilový nebo trojúhelníkový tvar, použijeme-li generátor šumů, pak můžeme generovat bílý nebo růžový šum. Jelikož má většina moderních nástrojů, které využívají rozdílovou syntézu, alespoň 2 oscilátory, můžeme tyto signály navzájem kombinovat a tím dostaneme širokou škálu zvukových barev. [5, 15, 16, 17]

V procesu nevznikají žádné nové frekvenční složky signálu, stávající složky jsou buď potlačeny, nebo zvýrazněny. Toto nás omezuje v tvorbě úplné množiny zvuků. Z tohoto důvodu bývá rozdílová syntéza doplňována dalšími metodami, např. frekvenční nebo amplitudovou modulací. [15]

Rozdílovou analýzu využíval Robert Moog ve svých Modulárních syntezátorech a poté i v několika verzích Minimoogu, tato syntéza byla využita i v syntezátorech Korg MS-20, Hammondovém Novachordu, Steiner-Parker Synthaconu nebo v EMS syntezátorech.



Obr. 2.2 – Rozdílová syntéza [15]

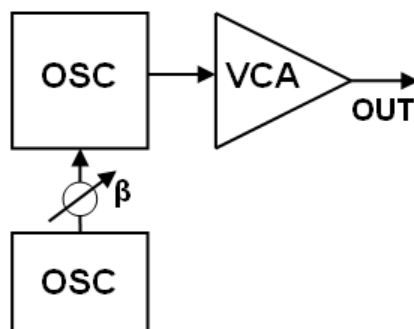
### 2.3 FM syntéza

Principem této syntézy je frekvenční modulace signálu z jednoho oscilátoru signálem z druhého oscilátoru. Během modulační metody zvukové syntézy vznikají nové harmonické složky úměrné součtům a rozdílům přítomných frekvencí, které se přidávají k původnímu nosnému signálu. Další rozšíření získáme, budeme-li modulovat i modulátor. Modulátor může pomocí zpětné vazby modulovat i sám sebe. Oproti rozdílové syntéze není frekvenční syntéza omezena pevnou harmonickou strukturou. Syntezátor využívající tuto syntézu může obsahovat desítky oscilátorů, které lze libovolně propojit mezi sebou. Charakteristická frekvenční pásma se vytváří v závislosti na poměrech nosné, modulační frekvence, hloubky modulace a tvaru signálu. Frekvenční modulace je vhodná pro různé efekty a ruchy, např. jako emulace zvonů, klarinetu nebo alarmu.

Tento typ syntézy se objevil v několika syntezátorech, jako např. Prophet-5, Oberheim Xpander nebo v Buchlovým syntezátorech, ale populární se stal díky firmě Yamaha a jejich digitálnímu syntezátoru DX7. [15, 16, 17]

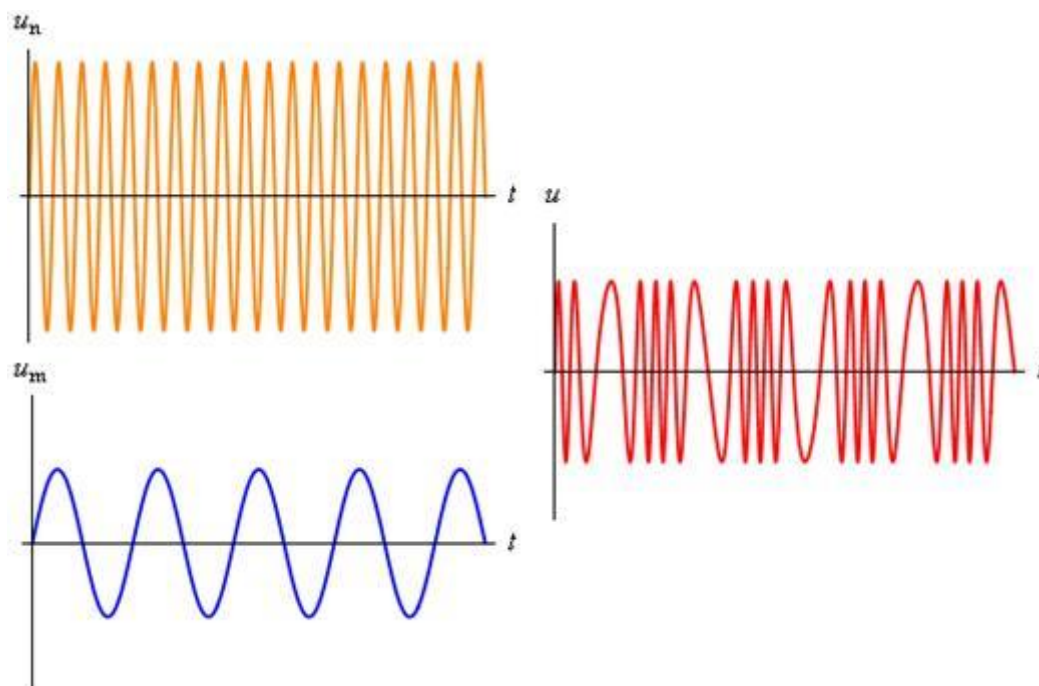
**FREKVENČNÍ MODULACE**

nosný signál



modulační signál

Obr. 2.3 – Blokové schéma FM [15]



Obr. 2.4 – Syntéza frekvenční modulací (FM) [25]

### 3 Analogové syntezátory v dnešní době

V dnešní době je poměrně těžké narazit přímo na analogový syntezátor. Pokud někdo chce použít zvuk z analogového syntezátoru, použije spíše digitální syntezátory s tzv. virtuální analogovou syntézou.

Poté, co se Robert Moog vrací do své společnosti Moog Music vydává v roce 2002 **Minimoog Voyager**, který je nástupcem populárního syntezátoru Minimoog D. Cena se pohybuje kolem 80.000 Kč. V roce 2010 firma vydává rozšířenou verzi Minimoog Voyager XL. Cena se vyšplhala až k hodnotě kolem 115.000 Kč. [18, 19]



Obr. 3.1 – Minimoog Voyager [26]

Firma KORG se i v dnešní době částečně zaměřuje na analogové syntezátory. Od roku 2013 prodává upravenou verzi svého analogového syntezátoru KORG MS-20 z roku 1978 a to pod názvem **KORG MS-20 mini**. Jeho cena se pohybuje kolem 17.000 Kč. V únoru 2014 firma KORG ohlásila, že se chystá udělat novou verzi analogového syntezátoru firmy ARP Odyssey z roku 1972. Předpokládané uvedení na trh je v září 2014. [20]



Obr. 3.2 – KORG MS-20 mini [20]



Obr. 3.3 – Prototyp ARP Odyssey od firmy KORG [20]



## Závěr

Za první elektronický nástroj je považováno Telharmonium, které bylo vytvořeno už v roce 1897. Tento nástroj byl několikrát upraven, ale s nástupem triody (v té době pod názvem Audion) však tento nástroj rychle zastaral. Poté se objevuje známý nástroj Theremin, na který se hraje pohybem paží a využívá rozladění oscilátorů kapacitou lidského těla. Ve 20. letech se objevují nástroje, které vycházejí z principu Thereminu a to např. Martenotovy vlny nebo Spherophone a také se objevují první nástroje podobné varhanám, jako např. Wave Organ nebo Mixtur-Trautonium. V roce 1935 byly vynalezeny Hammondovy varhany, které byly velmi populární, o čemž svědčí i fakt, že do poloviny 70. let se stále vyráběla elektromechanická verze a dnes se vyrábějí v digitální verzi. Na konci 30. a během 40. let se vyrábí menší nástroje, které se využívaly jako rozšíření k pianu. Mezi tyto nástroje patří např. Ondioline, Solovox nebo Clavioline (v roce 1953 se objevuje polyfonní verze pod názvem Tuttivox). V 50. letech na americké univerzitě v Princetonu zabývají plně programovatelným syntezátorem RCA Mark I a poté RCA Mark II, které uměly číst děrné štítky. V roce 1963 firma Mellotronics vydává Mellotron, předchůdce dnešních samplerů, který přehrával zvuky na magnetonových páscích. Pánové Robert Moog a Donald Buchla se v 60. letech a počátkem 70. let zabývají modulárními syntezátory. V první polovině 80. letech 20. století nastává zvrát na poli syntezátorů. Analogové syntezátory se dostávají do útlumu a jsou nahrazovány digitálními syntezátory, jejichž cena byla mnohem přívětivější pro koncové uživatele. Významnou událostí se stává komunikační protokol MIDI, který se objevuje v roce 1983. MIDI sjednocuje komunikační standard syntezátorů různých výrobců a to umožňuje propojení jednotlivých digitálních syntezátorů. Na přelomu tisíciletí se poptávka po analogových syntezátorech zvyšuje a to hlavně pro jejich specifický zvuk a tzv. „analogovou nepřesnost“. Mnoho digitálních syntezátorů dnes nabízí různé pluginy, které se snaží napodobit specifické zvuky analogových syntezátorů, ale k originálnímu zvukovému projevu se pouze přibližují.

Tyto analogové syntezátory využívaly aditivní a subtraktivní syntézu, výjimečně i FM syntézu, ale tu proslavila převážně firma Yamaha díky svému digitálnímu syntezátoru DX7. Tato syntéza byla poté hojně využívána digitálními syntezátory.

Na tuto bakalářskou práci by měla navazovat diplomová práce, který by se zabývala návrhem a vytvořením funkčního modelu analogového syntezátoru za použití některé ze syntéz zvuku, které byly popsány v kapitole 2 v této práci.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Elektronická hudba* [online]. [cit. 2013-10-20]. Dostupné z WWW: <<http://elektronicka-hudba.telotone.cz/clanky/historie-elektronickych-nastroju>>
- [2] GUŠTAR M.: *Elektrofony. Historie, Principy, Souvislosti. Část I. – Elektromechanické nástroje* [online]. Praha: Uvnitř 2007. ISBN 978-80-239-8446-0 [cit. 2014-02-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.uvnitr.cz/books/elektrofony1.html>>
- [3] *Bodyia.cz: bodyia* [online]. [cit. 2013-10-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.bodyia.cz/historie-elektronickych-nastroju>>
- [4] *IEEE Global History Network* [online]. [cit. 2013-11-05]. Dostupné z WWW: <[http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Audion\\_Piano](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Audion_Piano)>
- [5] *Centrum Audiovizuálních Studií FAMU* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z WWW: <[http://cas.famu.cz/wiki/index.php/Syntéza\\_zvuku](http://cas.famu.cz/wiki/index.php/Syntéza_zvuku)>
- [6] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Spharophon* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Spharophon>>
- [7] *120 Years of Electronic Music* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://120years.net/wordpress>>
- [8] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Hammond organ* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-03-25]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Hammond\\_organ](http://en.wikipedia.org/wiki/Hammond_organ)>
- [9] *Muzikus.cz - Hudební portál* [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.muzikus.cz/tagy/elektrofony>>
- [10] *IEEE Global History Network* [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z WWW: <[http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/RCA\\_Mark\\_I\\_and\\_Mark\\_II\\_Synthesizers](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/RCA_Mark_I_and_Mark_II_Synthesizers)>
- [11] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Mellotron* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Mellotron>>
- [12] *Elektronická hudba* [online]. [cit. 2014-10-18]. Dostupné z WWW: <<http://buchla.com/about/history-buchla/>>
- [13] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Minimoog* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Minimoog>>

- 
- [14] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Fairlight CMI* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Fairlight\\_CMI](http://en.wikipedia.org/wiki/Fairlight_CMI)>
- [15] *Elektronická hudba* [online]. [cit. 2014-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://elektronicka-hudba.telotone.cz/clanky/metody-zvukove-syntezy/>>
- [16] *Živá hudba – Časopis pro studium hudby a tance* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.ziva-hudba.info/article.php?id=215>>
- [17] *Muzikus.cz - Hudební portál* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-clanky/Zvukova-synteza-tema-mesice~24~leden~2013/>>
- [18] *Muzikus.cz - Hudební portál* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.muzikus.cz/pro-muzikanty-testy/Minimoog-Voyager~26~duben~2006/>>
- [19] WIKIPEDIA: THE FREE ENCYCLOPEDIA: *Minimoog Voyager* - Wikipedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2014 [cit. 2014-05-24]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Minimoog\\_Voyager](http://en.wikipedia.org/wiki/Minimoog_Voyager)>
- [20] *KORG / USA* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.korg.com/us/>>

*Použité obrázky:*

- [21] *Theatre Organs Under the Southern Cross: Theatre organs and photoplayers* [online]. [cit.2013-10-30]. Dostupné z WWW: <<http://theatreorgans.com/southerncross/Journal/Centenary%20of%20the%20Electronic%20Organ.htm>>
- [22] *Ken Moore Design* [online]. [cit. 2013-11-03]. Dostupné z WWW: <<http://kenmooredesign.blogspot.cz/2008/11/wii-theremin.html>>
- [23] *Mastering & Music Studio - Emotion Converting Plant* [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z WWW: <[http://www.studiomastering.net/syntezaator\\_organy\\_hammonda.jpg](http://www.studiomastering.net/syntezaator_organy_hammonda.jpg)>
- [24] *Electronic Instrument* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://www2.ph.ed.ac.uk/AardvarkDeployments/Public/67158/views/workspace/dwatts1/66265/inner.node/files/MusicalAcoustics/CourseNotes/ElectronicInstruments/web.html>>
- [25] *Multimediální Encyklopedie Fyziky* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1390-frekvencni-modulace>>
- [26] *Moog Music Inc* [online]. [cit. 2014-06-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.moogmusic.com/products/minimoog-voyagers/minimoog-voyager-performer-edition>>