

**НАЦИОНАЛНА МУЗИКАЛНА АКАДЕМИЯ  
„Проф. Панчо Владигеров”**

**Катедра „Теория на музиката”**

Ани Добринова Свинарова

**ИЗРАЗНИ И ХУДОЖЕСТВЕНИ  
ВЪЗМОЖНОСТИ ПРИ СИНТЕЗА НА ЗВУК,  
ЧРЕЗ СЪЗДАВАНЕ И РАЗВИТИЕ НА НОВИ  
СОФТУЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ В МАХ/MSP И  
N.I. РЕАКТОР**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователната  
и научна степен „доктор”

Научен ръководител: проф. Иво Керемидчиев

София, 2018

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на заседание на катедра „Теория на музиката”, състояло се на 21.05.2018 година.

Утвърден на ФС на 21.05.2018 г.

Дисертационният труд се състои от увод, четири глави, заключение, библиография и две приложения - общо 206 страници.

Защитата на дисертационния труд ще се проведе на .....2018 г. от ..... часа в зала No48 на НМА „Проф. Панчо Владигеров“, София, бул. „Евлоги и Христо Георгиеви“ No94. на открито заседание на научно жури в състав: доц. д-р Кремена Ангелова (рецензент), доц. д-р Павел Стефанов, проф. д-р Симо Лазаров (рецензент), доц. Димитър Василев, проф. д-р Адриан Георгиев.

Материалите за защитата са на разположение в Учебен отдел на НМА.

## Съдържание:

Увод.....	5
Обект, предмет, методология, цел и задачи .....	7
ПЪРВА ГЛАВА .....	8
1.1. Ранни експерименти.....	8
1.2 Някои синтезаторни предшественици .....	9
1.2.1. „Телхармониум“ .....	9
1.2.2. Аудион пиано.....	10
1.2.3. Теремин.....	11
1.2.4. Онд Мартено.....	12
1.2.5. Инструментите на Йорг Магер .....	12
1.2.6. Траутониум.....	14
1.2.7. Hammond орган .....	15
1.2.8. Звукозаписна и звуковъзпроизвеждаща техника .....	16
в ролята на електронни музикални инструменти.....	16
1.2.8.1. Ранни семплери .....	16
1.2.8.2. Графичен/рисуван звук.....	18
1.2.9. Макс Матюс и първата компютърна музикална програма .....	20
1.3. Възход на синтезаторите.....	21
1.3.1. RCA музикален синтезатор .....	22
1.3.2. Д-р Робърт Моог и Moog Modular .....	23
1.3.3. Музикалната кутия „Бъкла“ (The Buchla Box) .....	24
1.3.4. ARP 2500 и 2600 .....	25
1.3.5. EMS VCS3 .....	25
1.3.6. Minimoog .....	26
1.4. За смисловото значение на Глава 1 за настоящия труд.....	27
ВТОРА ГЛАВА .....	28
Видове синтезатори и звуков синтез. Основни понятия и синтезаторни модули .....	28
2.1. Видове синтезатори.....	28
2.2. Основни технически средства за звукосинтезиране.....	29
2.2.1. Аналогов звуков синтез.....	29
2.2.2. Цифров звуков синтез .....	29
2.2.2.1. Основни модули на цифров синтезатор.....	29
2.2.3. Хибриден (цифрово-аналогов) звуков синтез .....	33
2.3. Модулация .....	33
2.4. Кратко описание на видовете звуков синтез спрямо методите .....	34
на темброобразуване, използвани като база за практическата част на настоящия труд.....	34
2.4.1. Адитивен синтез (Additive synthesis) .....	34
2.4.2. Субтрактивен синтез (Subtractive synthesis) .....	35
2.4.3. FM (честотно-модулационен) синтез.....	35
2.4.4. Вълново-табличен синтез (wavetable synthesis).....	35
2.4.5. Грануларен синтез (Granular Synthesis).....	36
ТРЕТА ГЛАВА .....	37
Изграждане на софтуерните синтезатори Synthan_Subtra, AddiSyAn, FMAAn, GrAnis и WatAn.....	37
3.1. Смислово обосноваване за този елемент от практическата част в настоящия труд.....	37
3.1.1. Развитие на творческото мислене чрез създаване на софтуерни музикални инструменти .....	37
3.2. Избор на среда за програмиране .....	38
3.3. Устройство на Synthan_Subtra, AddiSyAn и FMAAn - трите синтезатора, изградени чрез Max/MSP).....	38

3.3.1. SynthAn_Subtra.....	38
3.3.1.1. Звукоизточници .....	39
3.3.1.2. Сигнални пътеки на звукоизточниците .....	40
3.3.1.3. Филтри.....	40
3.3.1.4. Ниско честотни осцилатори.....	41
3.3.1.5. Усилвател .....	42
3.3.1.6. Генератори на обвиваща крива .....	42
3.3.2. Общи алгоритми за Synthan_Subtra, FMan и Addisyan .....	43
3.3.2.1. Принцип на звукопроизвеждане .....	43
3.3.2.2. Главен усилвател и генератор на обвиваща крива, свързан към него .....	43
3.3.2.3. MIDI_CC_assignment .....	43
3.3.2.4. За отношенията контролиращ интерфейс – синтезаторен двигател .....	44
3.3.2.5. Общи алгоритми за AddiSyAn и FMan .....	44
3.3.3. FMan .....	45
3.3.3.1. Оператори и сигнални пътеки .....	45
3.3.4. AddiSyAn .....	46
3.3.4.1. Осцилатори .....	46
3.4. Устройство на GrAniS и Watan - двата синтезатора, изградени чрез Reaktor .....	46
3.4.1. Watan .....	46
3.4.1.1. Осцилатори .....	47
3.4.1.2. Генератори на обвиваща крива за неперидична вълново-таблична модуляция .....	47
3.4.1.3. Нискочестотни осцилатори.....	47
3.4.1.4. Филтър.....	48
3.4.2. Общи принципи на звукопроизвеждане в Watan и Granis .....	48
3.4.3. Granis .....	48
3.4.3.1. Осцилатори - „облаци” .....	49
3.4.3.2. Нискочестотни осцилатори .....	50
ЧЕТВЪРТА ГЛАВА .....	51
Основи за създаване на музикално произведение, представящо някои от възможностите на Granis, Watan, FMan, Addisyan и Synthan_Subtra. Осъществяване на GraWaFAddSu.....	51
4.1. Темброви първообрази и класификация на осъществяването им чрез синтезатор .....	51
4.1.1. Измислен тембър .....	52
4.1.2. Случаен тембър .....	52
4.1.3. Намерен тембър .....	53
4.1.4. Темброви първообрази като средство за вдъхновение.....	53
4.2. Безплътна мелодия.....	54
4.3. Автоматично свирене .....	56
4.4. Експериментът GraWaFAddSu .....	57
4.4.1. План .....	57
4.2.2. Изпълнение на плана - осъществяването на GraWaFAddSu .....	57
Заклучение и изводи.....	59
Самооценка на приносите .....	60
НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД .....	61

## Увод

Вдъхновението свързва звук с мисли и емоции, пробуждайки съзнанието да зачене от тази връзка и да създаде музика. Творческият ум копнее това създание да прозвучи отвъд и да бъде споделено. В зората на цивилизацията, може би, за такова изразяване е било достатъчно човекът да използва само гласа си. Но многообразието на звуци в природата скоро е провокирало появата на музикални инструменти. С изобретяването, развитието и овладяването на техните възможности се видоизменя и развива музикалното мислене. Още като зародиш във вътрешния слух мелодията се появява с представата за своя тембър, рамкирана от наличните средства и нарастващите умения на своя съзидател. Колкото и да е необятно, човешкото въображение все пак има предели, издигнати от опита на възприятията - тембровото музикално мислене е ограничено от познанията на твореца. Възникнали трайни спомени за звученето на различни музикални инструменти, съчетани със знания за техническите възможности, съставляват палитрата, която композиторите използват несъзнавано, но осъзнато при появата на музикална идея и после напълно съзнателно при развитието ѝ в музикално произведение. В първомига на „несъзнаваната - осъзната”, случваща се все още във въображението, употреба не е невъзможно и няма как да е забранено инцидентно превишаване на реалните възможности на действителния звукоизточник, на който принадлежи представилият се тембър. Именно това би могло да се счита за една от главните композиторски предпоставки за усъвършенстване на музикалните инструменти. Заедно - разширяването на музикалните познания и изобретателският копнеж на човешката същност, допринасят за неизбежната еволюция на инструментите, паралелно с музикалната. Често взаимовръзката е така преплетена, че не става напълно ясно кое прави стъпката напред - изкуството или подпомагащите го изобретения.

А възможно ли е идеята да се яви със звук, който все още не съществува извън представящото си съзнание? Може ли в полета на въображението да чуем безпътна мелодия - такава, която все още няма тембър? Възможно ли е вдъхновението да бъде провокирано от осъзнаването, че някой шум може да се използва музикално? Тук ще си позволя да нарека появилата се темброва представа след първото вслушване в даден тембър „тембров първообраз”. Ако съзнанието възприеме тембров първообраз малко преди, след или по време на явяване на безпътна мелодия най-вероятно за първоначално уплътняване ще послужи именно този нов тембър. А може би ако музикалната идея се представи непосредствено след тембровия първообраз, не е изключено самият той да се превъплъти в част от вдъхновението.

В недалечното минало такива темброви първообрази са били рядкост. В настоящето обаче има инструмент, чрез който композиторът сам може да създава тембри. Инструментът е наречен синтезатор, а процесът на звукосъздаване - звуков синтез. Често звукосинтезирането може да бъде експеримент с неочаквани резултати, а вглъбяването в него - да предизвиква вдъхновение. Но за да бъде вглъбяването така ползотворно и синтезаторът да е служител на креативността, творещият трябва да познава този инструмент сякаш малко повече от всеки друг. По пътя на осъзнаването може да се появи желание за още по-дълбоко потапяне в разбирането. Един от начините за докосване до такова разбиране е композиторът сам да направи синтезатори, които да използва за бъдещи творби. Действително един такъв опит разширява обсега на уменията и дава възможност физическото сътворяване да започне от самото начало.

## **Обект, предмет, методология, цел и задачи**

**Обект** на настоящия труд е синтезаторът – чрез изучаване на произхода и историческото развитие на този относително млад инструмент и неговата роля в музикалното творчество, да се разкрият и определят новите възможности и хоризонти за създаване и интерпретиране на музикални творби. Основната **хипотеза** представя звуковия синтез като средство за музикално-творческо изразяване. **Предметът** на проучването обхваща задълбочено изследване на възникването и усъвършенстването на синтезаторите, характеризирани на основните технически познания обуславящи този процес и развитието им до ниво на собствени разработки с прилагане на **методология** в следната последователност: софтуерно конструиране на пет нови синтезатора; създаване на звуци с тях; създаване на експериментално музикално произведение.

**Целта** на настоящия труд е да представи целия процес - от придобиване на познания и умения чрез създаване и развитие на синтезатори, през изработване на темброви първообрази с новоизградените инструменти до композиране на музикално произведение посредством новите тембри. Теоретичната част разглежда историята на електронните музикални инструменти, видовете звуков синтез и основните синтезаторни модули. Практическата част включва изпълнение на следните **задачи**:

- изграждане на софтуерни синтезатори посредством графичните език и среда за програмиране Max/MSP и N.I. Reaktor;
- създаване на тембри - темброви първообрази, с новоизградените инструменти;
- композиране на музикална творба, в която са представени новите тембри.

## ПЪРВА ГЛАВА

### Кратка история, произход и развитие на синтезатора

#### 1.1. Ранни експерименти

В далечната 1705 г. в една от срещите на Британското кралско научно дружество Франсис Хоксби представя най-новото си изобретение - въртяща се посредством манивела обезвъздушена стъклена сфера, която при допир излъчва синя светлина. Машината на Хоксби е първият електростатичен генератор и значима инвенция, поставяща началото на серия от любителски и научни експерименти и теории, чрез които от необяснима, мистифицирано-божествена сила електричеството бива овладяно от човека, като променя цивилизацията, сравнимо с Прометеевия огън.

Близо двадесетина години след успешното осъществяване на трансатлантическата телеграфна връзка Елайша Грей наблюдава една интересна игра на своя племенник - детето е свързало единия полюс на батерия към себе си, а другия - към ваната в банята и търкайки с ръка повърхността на ваната, то създавало чуваем бръмчащ тон, пропорционален на тока. Вдъхновен от наблюдението, Грей започва да изучава електроакустичните ефекти. Въпреки че се нарежда сред непризнатите изобретатели на телефона, Елайша Грей все пак има един патент от 1876 г. за своя „Музикален телеграф”. По неговите думи инвенцията му „...*се състои в нов художествен способ за произвеждане на музикални импресии или звуци посредством серии от подобаващо настроени вибриращи платъци или лостове, задействани от клавиши, отварящи и затварящи електрически вериги. Състои се също в нов метод за предаване на така произведените тонове през електрическа верига и възпроизводството им в получаващия край на линията.*”<sup>1</sup> Първоначалният замисъл е

---

<sup>1</sup> Gray, Elisha. Electro-Harmonic Telegraph. US Patent 173,618, issued Feb. 1876, стр. 1



изобретението да е в основата на мултиплексна телеграфна система, но остава в историята като един от най-ранните електрофони.

Херман Хелмхолц доказва Акустичния закон на Ом експериментално и през 1863 г. публикува „За усещанията за тон като физиологическа основа за теорията на музиката”. Като средство за провеждане на опити с цел да се установи дали фазата влияе на тембъра, Хелмхолц проектира машина, която нарича „звуков смесител”, чрез който е възможно „*да състави различни тонове от прости тонове изкуствено*”<sup>2</sup> Апаратът е изграден от затрептявани чрез електричество камертони и специални резонатори, употребени като усилватели.

В края на XIX век уличното осветление в Англия се осигурява чрез електрически дъгови лампи, които освен че не светят достатъчно силно, издават неприятен за околните „шум”. Наемат физика Хенри Дъдел да се справи с този проблем. Като експериментира, той открива, че според подаваното напрежение този „шум” променя височината си и променяйки напрежението, може да създаде контролирани честоти в чуваемия спектър. Свързва лампите с клавиатура и създава първия и единствен електронен музикален инструмент, който използва волтова дъга като звукоизточник.

## 1.2 Някои синтезаторни предшественици

### 1.2.1. „Телхармониум”

През 1832г. Хиполит Пиксий създава електрически генератор, базиран на принципите на електромагнетизма, който преобразува механична енергия в променлив електрически ток - динамо. Първият английски превод на труда „За усещанията за тон като физиологическа основа за теорията на музиката” е публикуван през 1875 г. - скоро след

---

<sup>2</sup> *Helmholtz, Hermann. On the Sensation of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music. London and New York: Longmans, Green, and Co., 3<sup>rd</sup> edition, 1895, стр. 120*

първите презентации на музикалния телеграф на Елайша Грей и малко преди провеждането на първия телефонен разговор. Навярно именно тези важни исторически събития, вдъхновяват Тадеус Кахил да си представи инструмент, който подобно на Хелмхолцовия звуков смесител да изгражда различни тембри от прости тонове, и същевременно музиката, изсвирена на него, да се предава по телефонна мрежа, като за разлика от музикалния телеграф създаваните сигнали да бъдат достатъчно мощни, за да достигат по-далечни разстояния. Осъществяването на тази идея започва в края на XIX век, през 1897г. Сърцето на новия инструмент, наречен „Телхармониум” или „Динамофон”, е звуково колело, изградено от 7 динамота, чиито сигнали са синусоиди, създаващи звук със 7 хармоници. През лятото на 1906 г. вторият модел „Телхармониум” със 145 звукови колела с тегло 200 тона е пренесен от Вашингтон в Ню Йорк, където намерил своите абонати.

#### 1.2.2. Аудион пиано

В „Динамична теория на електромагнитното поле”, публикувана през 1865 г., Джеймс Кларк Максвел представя математически обусловена теория за съществуването на електромагнитни вълни, както и природата на светлината като такава. По предложение на Херман Хелмхолц в края на същия век Хайнрих Херц доказва експериментално тази теория чрез приемането на електромагнитно смущение, получено от искров генератор на вълни, които по това време са известни като херцови, а днес познаваме като радиовълни. Това откритие е логично последвано от опити за безжична телеграфия и представата за осъществимост на безжично предаване на звук. За да се превърне тази идея в използваема реалност, способства патентованата от Ли де Форест през 1906 г. електронна триодна лампа, наречена от изобретателя си аудион. Преди това - 5 години по-рано, Реджиналд Фесенден открива хетеродинния ефект, при който от смесването

на два електрически сигнала с различни честоти на изхода се получават честоти, равни на сумата и разликата от входящите. Експериментирайки, Де Форест забелязва, че може да използва хетеродинния ефект, за да получи осцилации в чуваемия спектър. През 1915 г. той прилага това свое наблюдение, за да създаде Аудион пиано - първия електронен музикален инструмент с лампови осцилатори.

### 1.2.3. Теремин

Към края на Първата световна война Лев Сергеевич Термен стига до длъжността заместник-ръководител на новосъздадената Московска военна радиотехническа лаборатория, а през 1919 г. е назначен във Физико-техническият институт в Санкт Петербург. Именно там, в един миг се вслушва в звука на машината, която конструира, и в промяната на тоновата височина, получаваща се при приближаване и отдалечаване на ръката му спрямо нея, и осъзнава музикалния потенциал на случващото се. Насърчен от ръководителя си, една от следващите задачи на Лев Сергеевич е да създаде музикален инструмент, базиран на тези му наблюдения. Самостоятелно прави свое приложение на хетеродинната техника, при който единият осцилатор е с постоянна висока честота, а другият - с променлива в зависимост от близостта на човешката ръка до антена, служеща като един от проводниците на кондензатор, а височината на тона е постигната чрез разликата в честотите на двата осцилатора. В последващи модели силата на звука също се контролира от близостта на човешката ръка до антена. Така е създаден първият музикален инструмент, при който не е необходим допир за звукоизвличане. Термен кръщава изобретението си етерфон или терменвокс, но по-известно става названието теремин.

#### 1.2.4. Онд Мартено

Морис Мартено е челист, който по време на Първата световна война служи като радиотелеграфист и забелязва, че от електрическото оборудване понякога звучат тонове с различна височина и интересен тембър. Идеята за новия инструмент най-вероятно възниква въз основа на това наблюдение и се съчетава с музикалната чувствителност на Мартено, за да се яви в представата за *„електрически инструмент, който да се присъедини към класата на симфоничните инструменти и да бъде значим елемент в произведения на водещи съвременни композитори.“*<sup>3</sup> Електротехническият способ за звукопроизвеждане на онд мартено е подобен на този при теремина, но изпълнителският контрол се различава коренно - още в първия вариант на инструмента тоновата височина се постига чрез пръстен, плъзгащ се по метална лента (струна), поставена над изкуствена клавиатура, за да бъде улеснено интонирането. Силата на звука се задава динамично от клавиш или лост, който някои ондисти често наричат „лък“. При последващи модели е прибавена и истинска клавиатура, чийто механизъм позволява латерални движения за постигане на вибрато. Пръстенът и лентата остават пред клавиатурата, а под тях отново в помощ на интонирането има кръгли вдлъбнатини, позиционирани пред всеки клавиш. За електроакустично преобразуване на сигнала са създадени различни високоговорители, чиито единична употреба или вид комбинация служат за промяна на тембъра.

#### 1.2.5. Инструментите на Йорг Магер

През 1911 г., един млад музикант органист изживява слухово събитие, което запалва у него житейски-предопределящо желание за създаване на

---

<sup>3</sup> Holmes, Thom. Electronic and experimental Music: Pioneers in Technology and Composition. New York: Routledge, 2<sup>nd</sup> edition, 2002, стр. 61

нови музикални инструменти. По собствения си разказ през онова лято Йорг Магер е силно впечатлен от странни нови хармонии, получили се вследствие на топлинна вълна, разстроила църковния орган. След края на Първата световна война Магер пребивава в Берлин, където се прехранва, работейки в завод за производство на електротехника, и същевременно попада в кръга на микротоналисти, поощрени от Феручо Бузони. Повлиян от общите им обсъждания, настоящата си „професия по неволя”, както и от едно несъвсем достоверно представяне на „Телхармониум” като микротонален инструмент, Магер стига до решението да опита възможностите на електричеството като средство за желаното микротонално осъществяване. За първия прототип на новия инструмент той събира от работното си място остатъчни радиокомпоненти и създава апарат, при който тоновата височина се определя чрез задвижване на манивела, променяща капацитета на електрическа верига, а самата верига се затваря чрез натискане на бутон. Първоначално нарича изобретението си Електрофон, но към 1924 г. го прекръщава Сферафон. След адаптиране на педал за контрол над звуковата амплитуда, за да разграничи новия модел от предишния, прибавя към наименованието представката “Kurbel” (манивела). Постепенно Магер развива интерес към постигане на разнообразни тембри и без да се отказва от микротоналните си влечения, съсредоточава усилията си в това направление. Експериментира с поставяне на електроакустични преобразуватели в различни по форма и материал тела дори директно в музикални инструменти, а също с различни електронни филтри. Инструментите, които създава в резултат на тези експерименти, са Калейдофон (прекръстен на Клавиатурсферафон) и Партигурофон.

### 1.2.6. Траутониум

През 1929 г. Фридрих Траутвайн е назначен за преподавател по акустика в Берлинската музикална академия и започва да работи в новооткрития Отдел за радиопроучване (Rundfunkversuchsstelle). От 1927 г. в същата академия професор по композиция е Паул Хиндемит. Срещата с Хиндемит е ключова не само за успеха на последвалите изобретения, а и за самия им дизайн.

Прототипът на новия инструмент, наречен Траутониум, се състои от 3 елемента: струна, опъната над метална шина, като при натиск струната и шината се допират и така затварят електрическата верига, а хоризонталната позиция на натиска определя капацитета и по този начин - тоновата височина; педал за контрол върху силата на звука; звукогенерираща електрическа верига, състояща се от осцилатор, генериращ трионовидна вълнова форма, чийто сигнал преминава през серия формантни филтри, от чиито настройки зависи тембърът. Практически това е първият електронен музикален инструмент, който още в първата си версия предлага способ за създаване на изключително голямо разнообразие от тембри и освен това предоставя осъществим динамичен контрол върху тембъра. Ранно нововъведение, което остава в дизайна на Траутониум, е добавянето на метални лостове (езичета) над струната, служещи за улеснение в интонирването. През 1933 г. „Телефункен“ пуска в продажба Фолкстраутониум - специално създаден модел, предназначен за домашна употреба с възможност да бъде включен директно в радиоприемник за усилване, като сред подобренията е способ, чрез който силата на натиска върху струната определя силата на звука. Модел на Траутониум, в който е въведена техника, патентована от Траутвайн през 1934 г., предлага съвършено нов метод на звукообразуване чрез прибавяне на субхармоници (получени чрез деление на основната честота с цяло число посредством честотни делители).

Оскар Сала става първият и единствен виртуозен траутонист, паралелно с което разширява техническите си познания дотолкова, че след 1935 г. поема почти изцяло развитието и направата на следващите траутониуми. Усъвършенстваният модел - микстур-траутониум от 1952 г., е изцяло негово дело.

#### 1.2.7. Hammond орган

Тъкмо по времето, когато САЩ затъват в Голямата депресия, много от патентите, заради които “Hammond Clock Company” все още е печеливша, биват обявени за невалидни. Търсейки начин да избегне фалит, Лорънс Хамонд стига до идеята, че може да използва технологията от своите часовници, за да създаде музикален инструмент, принципно подобен на „Телхармониум” - със звукови колела, но с много по-малки размери (и цена). В завършения си вид изобретението му представлява електромеханичен музикален инструмент, чийто звук се генерира посредством механизъм, съдържащ 91 звукови колела - зъбни, различни по размер и по брой зъби, до всяко от които има адаптер - магнит с намотка, превръщащ механичната енергия от въртящото се колело в електрически сигнал, който след филтриране е синусоидален. С 9 различни нива, възможно е да бъдат смесвани основен тон с 6 обертона, субтон октава под основния и неговият трети хармоник. Всеки клавиш е физически свързан със съответните 9 звукови колела, а хармоничното тоново съдържание, включително амплитудните съотношения между хармониците, е според избрания за клавиатурата набор от регистри (drawbars) и техните настройки.

Hammond органът е патентован през април 1934 г., а през 1935 започва масовото му производство и следва успех. Сред ранните купувачи е и Доналд Лесли, който по това време е радиоинженер за известен щатски универсален магазин и проявява интерес да работи за новосъздадената компания “Hammond Organ”. Той е силно впечатлен от възможностите на

новия инструмент, но същевременно някак разочарован от звученето му особено в малки пространства въпреки тремуланта и пружинния ревърб, които Хамонд и колегите му вече са приложили. Именно това разочарование, съчетано със симпатиите му към органа, а вероятно и амбицията му да работи за Хамонд го тласкат към решението да проектира и построи подходящ електроакустичен преобразувател, с който да поправи открития недостатък. След провеждане на множество различни опити изобретението, до което стига, предоставя: *„способ за добавяне на височинно тремоло или вибрато чрез механични средства... Също така, ...се постига приятно усещане за пространственост и дълбочина...”*<sup>4</sup> Специалното озвучително тяло, първоначално кръстено „вибратор”, но официално преименувано и по-познато като „Лесли”, в най-разпространения си вариант представлява кабинет с високочестотен и нискочестотен високоговорител, към всеки от които е прикрепен ротор - рупор за високочестотния говорител и барабан за нискочестотния, които се въртят с различна скорост и в противоположна посока.

#### 1.2.8. Звукозаписна и звуковъзпроизвеждаща техника

в ролята на електронни музикални инструменти

##### 1.2.8.1. Ранни семплери

Още през 1907 г. Мелвин Севери подава заявка за патент за „Звукопроизвеждащ апарат” с обект на изобретението - *„конструкция на подобрен музикален инструмент, в който звучащите вибрации са произведени електромагнитно чрез движение на фонограми от магнитен материал покрай електромагнитен звуковъзпроизвеждащ механизъм”*<sup>5</sup>. Патентът е одобрен през 1917 г., но не е известно дали инструментът е бил

---

<sup>4</sup> Leslie, Donald. Rotatable Tremulant Sound Producer. US Patent 2,489,653 issued Nov., 1949

<sup>5</sup> Severy, Melvin. Sound Producing Device. US Patent 1,218,324, issued Mar. 1917



изработен. Някои ранни осъществители на тази идея - макар и с по-различни технически средства, са: The Hardy-Goldthwaite organ, създаден през 1931 г. в САЩ от Артър Харди, Шерууд Браун и Радфорд Голдуейт; Welte Licht-Ton-Orgel, наричан още Phototone орган, построен от Едвин Велте през 1936 г. в Германия; Singing Keyboard (Пеещата клавиатура) на Фредерик Самис, изобретена в Холивуд през 1936 г.; Sonotéque на французина L. Lavalée - отново от 1936 г.

Сравнително скоро след като се въвежда магнитната лента, през 1949 г. Хари Чамберлин прави любителски запис на собствено изпълнение на личния си новозакупен Hammond орган, по време на който му идва наум, че е възможно да построи музикален инструмент, просвирващ чрез клавиатура такива и всякакви други звуци, включително кратки музикални откъси. Чамберлин завършва и представя първия модел на изобретението си и през 1956 г. За новия инструмент, наречен на създателя си „Чамберлин”, е изграден и патентован механизъм, съдържащ специално направени за целта лентови звукозаписи на различни акустични инструменти и звукови ефекти, като всеки клавиш е свързан с възпроизвеждаща глава за една лента - при натискане на клавиш прозвучава материалът, записан на дадената лента, а при отпускането му главата се връща в началото на записа. В зората на 60-те години един от търговските представители на Чамберлин занася инструмента в Англия и „забравяйки” да сподели, че не е негово творение, го показва на братята Бродли. Те решават, че могат да го подобрят, произвеждат и продават. Така в Обединеното кралство се появява всъщност версия на „Чамберлин” с новото име - Мелотрон. Някак иронично, Мелотрон става по-известен и съответно по-продаван от „Чамберлин”.

#### 1.2.8.2. Графичен/рисуван звук

През 1929 г. по един от първите съветски озвучени филми „Петилетка. План за велики дела”, режисиран от Абрам Роом, работят Арсени Авраамов, художникът и аниматор Михаил Цекхановски и изобретателят Евгени Шопло. Цекхановски предлага звуковата пътека на филма да е съставена от египетски или гръцки орнаменти, за да се получи *„непозната архаична музика”*<sup>6</sup>. Именно това е моментът, в който стартира инвенцията на техники за създаване на графичен звук, впоследствие наричан още рисуван, орнаментен, хартиен, изкуствен или синтетичен. Разкриват се лаборатории, в които тези техники биват развивани експериментално и логически. Между 1930 и 1934 г. начело с Авраамов „Мултизвук” (преименувана „Лаборатория Синтон” през 1931 г.) произвежда повече от 2000 м звукови пътеки, изработени чрез заснемане на изображения на нарисувани орнаменти. Николай Войнов разработва собствена техника, базирана на хартиени изрезки с размери и форма, прецизно изчислени от предназначен за целта уред - Нивотон. В Ленинград през 1931 г. Евгени Шопло с помощта на Георги Римски-Корсаков създава първия прототип на своя Вариофон - фотоелектричен музикален инструмент, служещ за произвеждане на изкуствени звукови пътеки посредством автоматизиран хартиен звук, постигнат чрез *„картонени дискове, съдържащи кръгообразни изображения на гребени с подходящо оформени зъби, въртящи се синхронно с движеща се филмова лента”*<sup>6</sup>. Германският аниматор и инженер Рудолф Пфенингер самостоятелно развива подобна техника, която нарича „Звуков ръкопис”. През 1932 г. в Берлин Оскар Фишингер представя своите експерименти с анимиран звук, чрез които изследва взаимовръзката между графични форми и слуховото им

---

<sup>6</sup> Smirnov, Andrey. Graphical Sound. Moscow, 2011 [http://asmir.info/graphical\\_sound.htm](http://asmir.info/graphical_sound.htm)

съответствие, фотографирайки „звукови орнаменти“ върху звуковата пътека на филмовата лента<sup>7</sup>.

Навярно без да има представа за съществуването на гореописаните изобретения, в средата на 30-те години, докато четял „всичко написано“ за любимия му композитор, в съзнанието на тогава младия студент Евгени Музрин „като мълния просветнала изобретателска мисъл. Възникнала идея за машина, способна по волята на човека да създава всякакви музикални звуци, тембри, интервали - всичко, което поиска композиторът“<sup>8</sup>. След двадесетгодишен неуморен (и нефинансиран) труд, подпомогнат от съветите на Борис Янковски, през 1957 г. Музрин завършва първата версия на своето творение - АНС синтезатор, кръстен на Александър Николаевич Скрябин. Звуковият генератор на АНС представлява 5 стъклени диска с по 144 оптични фонограми - звукови пътеки с ръчно изобразени синусоиди. Тембрите, както и самите музикални композиции, се изграждат чрез независимо и синхронно управление на целия набор от синусоиди посредством графична „партитура“ - стъклен панел, покрит с несъхнеща черна смола, представляващ на практика платно, върху което композиторът „рисува“ своята композиция. По предложение на Янковски вместо на 12 полутона в АНС октавата се дели на 72 степени, с най-малък интервал 1/6 от полутон.

Също през 1957 г. в Англия композитorkата Дафне Орам разработва техники, за чието изпълнение създава музикален инструмент, който по собствените ѝ думи представлява „машина с очовечаващи фактори, позволяващи композиторът да я инструктира чрез точен и опростен

---

<sup>7</sup> Mollagan, Aimee. The Visual Music Film. London: Palgrave Macmillan, 2015

<sup>8</sup> Анфилов, Глеб “Композитор как живописец (О синтезаторе АНС и его создателе Евгении Музрине)” *Фрагменти из книги “Физика и музика”, Детгиз, 1963* <http://asmir.info/lib/murzina.htm>

език”<sup>9</sup>. Инструментът, наречен Орамикс, е съставен от набор от филмови ленти, рисувателна дъска и устройство за превръщане на нарисуваните елементи в контролиращи сигнали за изходящия, като контролът се осъществява чрез „прочит” на отделните рисунки, изобразяващи графично-времето развитие на различните звукови елементи.

#### 1.2.9. Макс Матюс и първата компютърна музикална програма

След като завършва докторантура по електроинженерство през 1954 г., Макс Матюс е назначен в лабораториите на Бел към Отдела за акустични проучвания. Проектът, с който е ангажиран, е свързан с речево кодиране с цел предаване на повече телефонни канали на далечно разстояние. В паузата на концерт, който посещават заедно, шефът му - Джон Пиърс задава въпрос на Матюс, подхвърляйки му идеята за възможността да създаде програма, която „да синтезира музика на компютър”<sup>10</sup>. Така провокиран и окуражен от ръководителя си, Матюс взема отпуск от работата с речево кодиране, за да разработи програмата, наречена *MUSIC I*, чрез която *IBM704* през 1957 г. генерира първата компютърна музика - седемнадесетсекундното музикално произведение “*The Silver Scale*”, композирано от Нюман Гътман.

*C Music III*, представена през 1960 г., Матюс въвежда концепцията за генераторни единици (Unit Generators, съкр. UGs) - малки информационни блокове, формиращи различните „сигнално процесирани модули, като осцилатори, филтри и усилватели, които може да бъдат свързвани

---

<sup>9</sup> Oram, Daphne. An Individual Note of Music, Sound and Electronics. London: Galliard Paperbacks; New York: Galaxy Music Corporation, 1972

<sup>10</sup> Dayal, Greta. Max Mathews (1926-2011): An Extensive Interview With The Late Pioneer of Computer Music, Covering Bell Labs, John Cage, Stockhausen and HAL's voice. San Francisco, March 11, 2011 <https://frieze.com/article/max-mathews-1926-2011>

помежду си за сформирание на синтезаторни инструменти”<sup>11</sup>. Практически поне на идейно ниво цифровият модуларен синтезатор възниква заедно с аналоговия. MUSIC IV и последната, създадена от Матюс, MUSIC V (1967 г.) са подобрения на MUSIC III, преправени според новите за времето си компютри и езици за програмиране. Самият Матюс не предполага колко много предстои да се развият компютрите, нито какво влияние ще окаже неговата компютърна музикална програма. По образеца на MUSIC IV и V са създадени и развивани множество компютърни програми за звукосинтезиране, а сред вдъхновените от работата на Матюс е и Милър Пъкет - създателят на програма, представляваща графична среда за развитие и синтезиране на звук, музика и мултимедия, кръстена на Матюс - Мах. Именно Мах с разширението /MSP (Max Signal Processing) е една от избраните програми за осъществяване на практическата част на настоящия дисертационен труд.

### 1.3. Възход на синтезаторите

В средата на XX век електронното музициране се пренася към нови хоризонти и сякаш не е преувеличено да се каже, че тогава започва следващ, фундаментален етап от същинския му практически устрем. Основават се електронно-музикални студия - своеобразни „звукови лаборатории” в Западна Европа и Северна Америка, които служат като техническа база за създаване на множество значими творби от авангардни и експериментални композитори. Тази нова музика представя различен вид слухово преживяване, в което главната роля е отредена на самия звук - преорганизиран от композитора, експериментиращ с възможностите на

---

<sup>11</sup> Roads, Curtis. The Computer Music Tutorial. Cambridge MA: MIT Press, 1996, стр. 89

съвременните технологии, за да разшири сякаш до заличаване пределите, които правилата и традициите в утвърдената музикална практика са задали.

От една страна, ужасът след преживените две световни войни провокира желание за бягство от реалността и тотално скъсване с традициите. От друга - желанието за мир повелява заздравяване на връзките между минало и настояще за единно бъдеще, което в изкуството може да бъде изразено чрез смесване на стилистики и жанрове, представляващи културно наследство, с новите идеи, които възникват дори когато се пораждат от желанието за бягство от традициите. Исторически и технологично почвата е подготвена за поява на нов инструмент, назоваващ се с дума, която в глаголна форма означава „*обединяване, комбиниране на две или повече неща, които изграждат нещо ново*”<sup>12</sup>

### 1.3.1. RCA музикален синтезатор

През 1955 г. двама инженери, работещи в принстънските лаборатории на RCA - Хари Олсън и Хърбърт Белар, представят свое изобретение, което според собствените им думи осигурява: „*средства за произвеждане на тон с всякаква честота в рамките на чуваемия спектър; средства за произвеждане на тон с всевъзможна обертонова структура; средства за произвеждане на тон с всевъзможна характеристика на преходните процеси на зазвучаване, отзвучаване и продължителност; средства за промяна на обертоновата структура по всяко време; средства за внедряване на вибрато; средства за промяна в интензитета на тона; средства за постигане на портаменто или приплъзване от тон с дадена честота към тон с различна честота; средства, осигуряващи*

---

<sup>12</sup> <https://bg.wiktionary.org/wiki/синтезират>

отклонение от равномерността”<sup>13</sup>. Въвеждайки термин с дефиниция - „електронна система, произвеждаща музикални звуци”<sup>14</sup>, Олсън и Белар наричат инструмента „електронен музикален синтезатор”, а горепоместеният цитат, описващ „изискванията за синтезатор”, остава и до днес валиден списък с възможности, които трябва да има даден електронен музикален инструмент, за да бъде наречен синтезатор. RCA Mark I, познат още като Олсън-Белар синтезатор, също предоставя способ, чрез който „кодирана, перфорирана хартиена лента контролира всички функции” и „изходът на синтезатора се записва на плоча”.

Субсидирани от фондацията „Рокфелер”, Усачевски и Льонинг със съдействието на Бабит през 1958 г. основават Columbia - Princeton Electronic Music Center, в който първата главна „технологична звезда” е втората подобрена версия на Олсън-Белар синтезатора - RCA Mark II.

### 1.3.2. Д-р Робърт Моог и Moog Modular

Още през 1953 г. Моог основава R.A. Moog Co и продава теремините си, сглобени или (по-често) като комплект от части, по време на цялото си следване, предполагайки, че това би могло да е жизненото му поприще и занапред. По предложение на Уолтър Сear с цел да презентират своите инструменти заедно с Моог през декември 1963 г. посещават търговското изложение на NYSSMA (New York State School Music Association). Там Моог се запознава с Хърб Дойч - експериментален композитор и преподавател в университета „Хофстра”, силно развълнуван от срещата им, тъй като наскоро е закупил и сглобил теремин „Мелодия”. В една от последвалите срещи, в разговора между композитор и инженер е зачената

---

<sup>13</sup> Belar, H., Olson, F. “Electronic Music Synthesizer”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 27, no 3, 1955 pp. 595-612

<sup>14</sup> Olson, Harry. *Elements of Acoustical Engineering*. Princeton, New Jersey: D. Van Nostrand Company, 1957, стр. 614

идеята за нещо, което те тогава назовават „преносимо електронно музикално студио”, а ние днес познаваме като Moog Modular синтезатор.

Първият прототип, който Моог показва на Дойч, се състои от два осцилатора, управлявани с напрежение - с входове и изходи, позволяващи единият да променя честотата на другия, и с усилвател, управляван с напрежение - отново с вход, позволяващ амплитудата да бъде променена чрез свързан към него осцилатор. През лятото на 1964 г. двамата усилено работят над изобретението, прибавят органична клавиатура и генератор на обвиваща крива. За да демонстрират направеното, пътуват до електронното музикално студио на Торонтския университет, където получават ценен съвет. Вслушват се в него и прибавят филтър с волтажен контрол.

Към края на 1965 г. различните модули, някои от които са разработени по предложение на клиентите, са стандартизирани и стават познати като „серии 900”. Инструментът, който Моог чак през 1966 г. за първи път писмено назовава синтезатор, постепенно започва да добива известност.

### 1.3.3. Музикалната кутия „Бъкла” (The Buchla Box)

При едно от посещенията на Доналд Бъкла в Санфранциския лентов музикален център, композиторът Съботник погрешно решава, че той е инженерът, когото са потърсили, за да им направи ринг модулатор. Със своите умения Бъкла не издава грешката и така получава установено работно място сред авангардните композитори. Прави му силно впечатление, че за електронно генериране на звук се използват следвоенни остатъчни технологии, които изискват например запис на всеки тон поотделно и последващи рязане и лепене на лента за включването на подобни звуци в композиция. Различните източници дават колеблива информация чия всъщност е идеята, но през 1963 г. Съботник и Сендър заделят 500 \$ от спечелената от фондацията „Рокфелер” стипендия, за да



може Бъкла да създаде електронен музикален инструмент - нещо като „черна композиционна кутия”, което да улесни работата с електронно генерирани звуци. Резултатът, оповестен през 1965 г., е The Buchla Vox серия 100.

Без да има представа за работата на Моог, Бъкла паралелно с него изобретява модуларен синтезатор, управляван с напрежение. Основни разлики с ранните инструменти на Моог са наличието на секвенсер, изборът кабелите за свързване на модулите да са различни според модулните функции (сигнални или контролиращи) и липсата на клавиатура за сметка на специално създадени, чувствителни на допир падове.

#### 1.3.4. ARP 2500 и 2600

Докато слуша *Switched-On Bach*, инженер Алан Робърт Пърлман е вдъхновен да посвети техническите си умения и познания в служба на своите музикални интереси и през 1969 г. основава ARP. През май 1970 г. на AES конгрес в Калифорния Пърлман демонстрира първия си синтезатор - модуларния ARP 2500, иновативен със своите стабилни осцилатори и наличието на система от матрични плъзгачи - превключватели, служещи за междумодулна връзка. През есента на същата година е представена и полумодуларна „умалена версия” на 2500 – ARP 2600. Проектиран с идеята да бъде полезен за образователни цели, именно този синтезатор е първият комерсиално успешен модел на ARP.

#### 1.3.5. EMS VCS3

Питър Зиновиев е основател на едно от първите компютърни музикални студия в Лондон, базирано на DEC PDP8 компютър, закупен за да послужи за компютърно контролиран анализ на звук. Заедно с инженер Дейвид Кокърел и композитора Тристрам Кери с цел да бъде осигурен източник на електронно генериран звук, който да е контролиран

чрез компютъра, а също за да произведат продукт, чиито продажби биха били допълнителен приход за студиото, решават да създадат и пуснат в продажба малък синтезатор. В края на 1969 г. учредяват EMS (Electronic Music Studios) и представят безклавишния VCS3 (Voltage Controlled Studio 3) - първия лесно преносим, сравнително финансово достъпен модуларен синтезатор. За малкия размер на инструмента спомага най-отличаващото го устройство, чрез което изцяло е избегната нуждата от кабелно междумодулно свързване - на практика комутационно поле, представляващо 16x16 матричен панел, в който чрез поставяне на малки, специализирани карфици (pins) се осъществява връзка между модулите. VCS3, по-познат в САЩ с името *Putney*, е снабден и с малък джойстик за едновременен контрол на няколко синтезаторни параметъра.

#### 1.3.6. Minimoog

Както повечето си колеги, Бил Хемсат забелязва, че при представяне на модуларния Моог често се употребяват едни и същи модули, сигнална и контролна пътека. Скоро той решава, че през обедните си почивки ще сглоби за себе си опростено устройство, базирано на тази стандартна практика, с предварително свързани модули. Работната среда, постановена от Робърт Моог, предразполага към подобен тип свободно експериментиране и Хемсат, използвайки предимно остатъчни материали докъм Деня на благодарността през 1969 г. си подарява „домашен любимец“ - Model A Min. След като Дейвид Борден започва често да заема тази „чудатост“ за концертите си с *Mother Mallard*, инженерите на Моог осъзнават, че инструментът всъщност има потенциал да бъде печеливш продукт, и започват да работят върху подобряването му. Названието “Min” скоро е сменено с Minimoog и са разработени прототипни модели B и C, които също биват заемани от музиканти. Сред последните прибавени щрихи към *Minimoog Model D* са специално разработените и

първопредставени височинно и модулационно колело (pitch wheel и modulation wheel), които предоставят нов изпълнителски контрол и стават стандарт за множество последвали синтезатори. Model D е планиран като тестови преди изграждането на вече производствения Model E, но започва да бъде търсен и сглобяван по поръчки отново и отново, докато някак почти неусетно именно Minimoog Model D става първият, пуснат в продажба интегриран синтезатор.

Официалната премиера на Minimoog Model D се провежда на среща на AES през октомври 1970 г., когато са представени също ARP 2600 и VCS3. Именно това събитие слага началото на ера, в която синтезаторите „излизат“ от големите студия и академии, за да се превърнат в движеща сила в звученето на голяма част от съвременната музика.

#### 1.4. За смисловото значение на Глава 1 за настоящия труд

Същинският фокус на изследването, което настоящият труд има за цел да опише, гравитира около презумпцията, че процесът на звукосинтезиране може да бъде средство за вдъхновение. Току-що синтезираният звук като „тембров първообраз“ може да се превърне за синтезиста композитор в провокатор за поява на музикална мисъл или ако идеята е дошла предварително - като „безпътна мелодия“, последвалият синтезиран звук може да бъде неин осъществител. По асоциативен път се догажда, че по същия начин идеята за създаване на музикален инструмент се провокира и оформя от обстоятелствата, при които възниква, а представата за инструмента бива осъществена според нуждите на музикантите и наличните технологични средства.

Всеки от създадените синтезатори независимо от това, дали представя нововъведение или представлява по-достъпен финансово вариант, е важна стъпка към превръщането на тези инструменти в притежание на креативни музиканти, за които ще послужат като творческо средство за изразяване.

## ВТОРА ГЛАВА

### Видове синтезатори и звуков синтез. Основни понятия и синтезаторни модули

#### 2.1. Видове синтезатори

Към днешна дата съществува изключително многообразие от синтезатори, които най-общо биват класифицирани посредством следните категории според: начина, по който се свързват отделните модули - модулари, полумодуларни и изпълнителски; броя гласове, които може да звучат едновременно - монофонични и полифонични; възможностите за запаметяване на настройките - безпаметни, фабрично програмирани (preset) и програмируеми; възможностите за едновременно прозвучаване на повече от един тембър - монотембрални и мултитембрални; основния просвирващ контролер - клавишни и други; видовете звуков синтез, които от своя страна се подразделят спрямо техническите средства и същинските методи на темброобразуване. Спрямо основните по вид технически средства за звукосинтезиране синтезаторите биват аналогови, цифрови и хибридни, като цифровите може да са хардуерни или софтуерни. В зависимост от методите на темброобразуване синтезаторите са адитивни, субтрактивни, честотно-модулиращи (FM), вълново-таблични (wavetable), семплер-базирани, грануларни, физико-моделиращи (physical modeling), формантни и др. Съществуват инструменти с повече от един вид синтезаторен двигател, т.е. с повече от един вид звуков синтез, поради което би било адекватно към общата класификация да бъдат включени обозначенията „моносинтезни” и „полисинтезни”, категоризирани според броя на видовете синтезаторни двигатели. За по-точното описание на даден синтезатор се използва словосъчетание от различните категории.

## 2.2. Основни технически средства за звукосинтезиране

### 2.2.1. Аналогов звук синтез

Аналоговият аудиосигнал представлява променливо напрежение с вълнова форма, която е аналогична на звуковата. В контекста на звукосинтезирането аналогово е произвеждането на аудиосигнали чрез електрически вериги, управлявани с напрежение. В т. 2.2.1.1 от дисертационния труд са описани основните модули на аналогов синтезатор и техните функции.

### 2.2.2. Цифров звук синтез

Цифровият звук синтез се осъществява посредством специализирани програмни езици, чрез които се изграждат „виртуални машини” за изпълнение на нужните алгоритми - серии от инструкции, които машината ще използва за създаване на звук. След като програмистът е написал съответните инструкции и потребителят е настроил синтезаторния интерфейс според търсения звук, се създава поток от цифрови данни, който ще бъде преобразуван в аналогов сигнал от цифрово-аналогов преобразувател.

#### 2.2.2.1. Основни модули на цифров синтезатор

Цифровият звук синтез може да бъде дефиниран като алгоритмично генериране на потоци от семпли. Синтезаторно звено, което само по себе си съдържа генериращ или процесиращ алгоритъм, е единичен генератор (Unit Generator - UG). Най-общо UG се класифицира като сигнален генератор или сигнален модификатор. Сигналните генератори се делят на произвеждащи нискочестотен контролиращ сигнал или сигнал с честоти в чуваемия спектър, т.е. аудиосигнал. Генераторите на: аудиосигнал в този контекст се наричат звукоизточници; контролиращ сигнал - модулатори. Всъщност тази класификация важи и при аналоговите

синтезатори - осцилаторите и генераторите на обвиваща крива са източници на сигнал, а филтрите и усилвателите - модификатори. Осцилаторите с работна честота в чуваемия спектър и шумовите генератори са звукоизточници, LFO и EG са модулатори. По същия начин основните синтезаторни функции на аналоговите модули са същите и при цифровите им еквиваленти.

### Звукоизточници

Един от възможните варианти за генериране на семпли (дискрети) е математически - чрез алгоритъм, който да изчислява стойностите на вълнова форма според зададена формула. По-често, числените стойности на семплите за един цикъл от вълновата форма са предварително изчислени и запазени в паметта като лист, наречен wavetable (вълнова таблица), а цифровият осцилатор повторяемо сканира тази вълнова таблица със скорост според зададената му честота. Този процес е наречен table-lookup (таблично-преглеждащ, таблично-четящ) синтез, а типичният цифров осцилатор (digital oscillator, DO) на практика е таблично-четящ. Основната работна честота на цифровия осцилатор зависи от дължината на вълновата таблица и семплиращата честота. При най-често прилаганият метод за получаване на различна от основната честота на осцилатора вълновата таблица се чете с различни скорости, с пропускане на някой от семплите в нея, т.е. осцилаторът ресемплира вълновата таблица. При ресемплирането са възможни изкривявания, наричани “table lookup noise” (таблично-четящ шум), породени от факта, че фазовият индекс винаги е цяло число. За да бъдат избегнати, се използва или по-дълга вълнова таблица, или интерполиращ осцилатор, пресмятащ стойности между записаните в таблицата семпли. Названията вълново-табличен (wavetable) и таблично-четящ осцилатор се използват синонимно, но има разлика - истинският wavetable осцилатор като процес също е таблично-четящ, но вместо предварително записани в паметта таблици може да генерира

потребителски задавани такива<sup>15</sup>. Освен математически генерирана вълнова таблица може да бъде също цикъл от вълнова форма на семплиран акустичен звук.

Съвършено друг вид звукоизточник са семпъл-просвирващите устройства (Sample-Playback Sources). В този смисъл, семпъл се употребява като различно понятие - кратък цифров аудиофайл, който в рамките на устройството може да бъде просвирван при зададена от изпълнителски контролер команда. Sampler (семплер) е инструмент, който може да записва и просвирва чрез изпълнителски контролер такива семпли. От всеки семпъл може да се избира откъс, който да бъде повтарян (looped), което представлява един вид изкуствено създаден стационарен процес. Rompler е инструмент, който само просвирва предварително записани семпли (ROM - read only memory). Семплер и ромплер не са синтезатори - те нямат синтезаторен двигател. Семплиране не е звукосинтезиране.

Съществуват т.нар. хибридни цифрови осцилатори - система, която прочита кратък откъс от атаката на семплиран звукоизточник, след което има плавно преминаване към генерирана от цифров осцилатор вълнова форма. Този процес е в основата на метод на темброобразуване, първопредставен комерсиално от компанията "Roland" като линейно-аритметичен (Linear Arithmetic - LA) синтез.

### Филтри

Обобщено казано, цифровите филтри трансформират в различни числови стойности потока от дискрети, който приемат, според вида и настройките на параметрите си, изменяйки вълновата форма. С получените на входа семпли филтърът извършва 3 базови действия - умножава ги по дадени стойности, наречени коефициенти, забавя ги и ги събира. Спрямо

---

<sup>15</sup> *Shepard, Brian*. Refining Sound: A Practical Guide to Synthesis and Synthesizers. New York: Oxford University Press, 2013, стр. 46

работните си алгоритми цифровите филтри биват FIR (finite impulse response, с крайна импулсна характеристика), познат и като нерекурсивен (non-recursive) и IIR (infinite impulse response, с безкрайна импулсна характеристика), наречен още рекурсивен (recursive). Всеки семпъл, генериран от FIR филтър, представлява сумата от настоящо-входящия семпъл, умножен по коефициент и даден брой от предишно-постъпилите семпли, умножени по друг коефициент. Разреждът на филтъра зависи от броя на предишно-постъпилите семпли, умножени по коефициент като част от алгоритъма. Общо умножението на един или повече входящи семпли на сигнал по същия брой коефициенти се нарича convolution (конволюция, букв. пр. - извивка, анат. - мозъчна гънка). Всеки семпъл, генериран от IIR филтър, представлява сумата от настоящо-входящия семпъл, умножен по коефициент и даден брой от предишно-постъпилите семпли, умножени по друг коефициент, минус даден брой от изходящите семпли, умножени по коефициенти; отново броят на коефициентите определя разреда. Амплитудно-честотната характеристика се задава от стойностите на коефициентите.

### Усилвател

Промяна в амплитудата на цифров аудиосигнал се получава чрез умножение. Умножение с число:  $>1$  е равнозначно на усилване на сигнала;  $<1$  е намаляване. В рамките на повечето цифрови сигнални процесори, включително програмните езици, сигналните данни са форматирани в десетични числа в обхват от -1 до 1. Практически цифровият усилвател е просто умножител, чрез който сигналът се умножава обичайно с число между 0 и 1 ( $1 = 0$  dBFS,  $0,5 = -6$  dBFS,  $0,25 = -12$  dBFS и т.н.).

### Генератори на контролиращи сигнали

Всеки осцилатор може да бъде със зададена честота до 20 Hz и да функционира като LFO. При толкова ниска работна честота е възможно да бъде облекчено натоварването над централния процесор, като бъде



дефинирана различна от семплиращата честота скорост за сигналите, генерирани от LFO и EG.

При цифровите генератори на обвиваща крива са улеснени добавянето на множество допълнителни сегменти, дефинирането на достигнатите нива след края на всеки сегмент и избираемостта определяне на самите криви поотделно за всеки сегмент. Става практически приложимо потребителят да нарисова обвиваща крива, определяйки дадена точка от нея да бъде sustain нивото. Друга лесноосъществима опция е своеобразно превръщане на EG в LFO чрез loop функция.

### 2.2.3. Хибриден (цифрово-аналогов) звуков синтез

Хибридни цифрово-аналогови синтезатори логично са тези, при които е използвана и двата вида технология. Най-общо подобно смесване се случва по следните начини: цифров контрол на параметрите на аналогов синтез, чрез който се осъществява програмируемост на инструмента; цифрови звукоизточници с аналогови модификатори; хибридният модул - DCO - цифрово-контролиран осцилатор, който генерира аналогов сигнал, но честотата му се поддържа от микропроцесор.

### 2.3. Модулация

Когато 2 синтезаторни модула са свързани така, че единият да променя параметрите на другия, получаваме модулация. Контролиращият модул се нарича source (източник) или modulator (модулятор), а контролираният - destination (дестинация) или target (цел). До каква степен source ще променя параметрите на destination, зависи от допълнителен параметър, който обикновено се нарича depth (дълбочина) или amount (количество).

Най-често биват допълнително променяни параметрите на модулаторите, които ще произвеждат периодична и непериодична промяна

на параметрите на targets във времето. Най-известните сред тези източници са LFO и EG, в някои литературни източници се наричат “sources for automated/animated modulation” - източници на автоматизирана/анимирана модулация. Съответно валидно става твърдението, че модулацията представлява процесът, който използваме, за да променяме автоматизирано звука във времето.

Видовете модулация се определят според дестинацията - в зависимост от това, кой параметър е модулиран (контролиран чрез модулатор). Основните сред тях са FM - Frequency Modulation (честотна модулация), и AM - Amplitude Modulation (амплитудна модулация). За да се получи FM, е необходимо source да бъде свързан към destination, представляваща параметър за настройване на честотата на дадения модул. За да се получи AM, source трябва да е свързан с destination, представляваща параметър, определящ нивото на даден модул.

#### 2.4. Кратко описание на видовете звуков синтез спрямо методите на темброобразуване, използвани като база за практическата част на настоящия труд

##### 2.4.1. Адитивен синтез (Additive synthesis)

Методът е вдъхновен от математическото доказателство, представено от Жозеф Фурие, че всяка сложна периодична функция може да се представи като сума от прости. Проста периодична функция е синусида.

Чрез адитивен синтез може да бъдат изградени звуци както с хармоничен, така и с нехармоничен спектър, като най-често по-естествено звучене се постига с комбинация от тези варианти. За хармоничен спектър по дефиниция обертоновете са с честота, кратна на основния тон. Много значителен елемент при създаването на интересен тембър е присъствието на нехармонични компоненти.

#### 2.4.2. Субтрактивен синтез (Subtractive synthesis)

Щом всеки сложносъставен звук може да се изгради от множество прости тонове, тогава е възможен и обратният процес - от сложносъставен звук да бъдат премахнати или с намалена амплитуда някои съставни компоненти, за да бъде променен спектърът и по този начин - тембърът. Теоретично чрез подходящо филтриране на звукоизточник с богато хармонично съдържание е възможно да бъде синтезиран всякакъв звук.

#### 2.4.3. FM (честотно-модулационен) синтез

В продължение на няколко години, Джон Чоунинг провежда математически проучвания и слухови опити и през 1977 г. получава патент за изобретяването на „Метод на синтезиране на музикален звук”, при който *„музикалните звуци са синтезирани чрез честотна модулация, с носеща и модулираща честота в чуваемия обхват и модулационният индекс е съотнесен към функцията за контрол над лентовата широчина и еволюцията във времето на частичните тонове на синтезия звук”*<sup>16</sup>. Първият цифров синтезатор, който става масово разпространен - Yamaha DX7, използва именно този темброобразуващ подход.

#### 2.4.4. Вълново-табличен синтез (wavetable synthesis)

Към края на 70-те на XX век Волфганг Палм - основател на PPG, вече работи за осъществяване на идеята си, *„че всеки осцилатор трябва да може динамично да променя вълновата си форма и така ще можем да произведем всеки възобразим звук с него”*<sup>17</sup>. От тази идея се заражда вълново-табличният метод на темброобразуване - изграждане на звук посредством

---

<sup>16</sup> Chowning, John. Method of Synthesizing a Musical Sound. US Patent 4,018,121, issued Apr. 1977, стр. 1

<sup>17</sup> Palm, Wolfgang. The PPG Story. <http://wolfgangpalm.com/story/c7.html>; 2008

специализирани вълново-таблични осцилатори, чиито таблици съдържат цикли на повече от една вълнова форма. Тези т.нар. multiple wavetable осцилатори (множествено вълново-таблични) прочитат цифровизирани вълнови форми с възможност за плавно преминаване от една към друга вълна чрез автоматизиран или директен изпълнителски контрол по време на звукова трайност, за да бъде постигнато тембрално развитие. В зависимост от спецификата на конкретния инструмент вълновите цикли може да са предварително програмирани или създавани от потребител. Възможна е употреба на цикли от семплиран акустичен звукоизточник.

#### 2.4.5. Грануларен синтез (Granular Synthesis)

Гранула (grain) представлява единица за звукова енергия с всевъзможна вълнова форма и продължителност между 10 и 100 ms. Темброобразуването при грануларния синтез се осъществява чрез съставяне от множество звукови гранули - много кратки откъси от цифрови аудиоданни. Гранулата има два основни градивни елемента - съдържание и обвивка. Съдържанието може да е извлечено както от изцяло синтезаторно-генериран звук, така и от семплирани акустични звукоизточници. Обвивката определя продължителността и амплитудата на гранулата. Разстоянието между гранулите може да доведе до коренни промени в звука. Гъстотата на гранулите (grain density), измервана в гранули за секунда, е най-значима за текстурната структура - гъстота, по-малка от 30 гранули в секунда, ще произведе ритмичен ефект. При увеличаването ѝ над 30 гранули в секунда различаване на ритъм в структурата ще се изгуби за сметка на височинно възприятие съобразно обвивката и съдържанието на гранулите. Няма ограничение за гъстотата, гранулите може да бъдат наслагвани (overlaped). Така получена звучност асоциативно се определя като „облак“.

## ТРЕТА ГЛАВА

### Изграждане на софтуерните синтезатори Synthan\_Subtra, AddiSyAn, FMAAn, GrAnis и WatAn

#### 3.1. Смесово обосноваване за този елемент от практическата част в настоящия труд

Когато музикантът е и композитор, развиващата се способност за изграждане лесно може да бъде приложена към един експеримент, в чието разгръщане е гарантирано, че ще се наложи да се сдобие със знания, които впоследствие може да препоредят начина му на мислене така, че да се пусне още една нишка, свързваща го с избран инструмент. Подобно опитно самообучение няма нужда от претенции за откритие или въведение на новост - печалбата е в усвоените познания и умения, които от една страна ще разширяват осъзнаването, а от друга - ще бъдат основа за по-разбираемо споделяне.

#### 3.1.1. Развитие на творческото мислене чрез създаване на софтуерни музикални инструменти

За програмиращия физическите средства за овеществяване са езиците за програмиране, които владее към момента, а абстрактната творческа мисъл ще бъде въображаема визуализация на крайната цел - какво трябва да може да прави продуктът, който предстои да бъде създаден. Изясняването е равнозначно на изготвяне на план - какви да бъдат спецификациите на инструмента и спрямо тези спецификации - какви модули трябва да бъдат изградени. На този етап има връщане към допълнително овладяване на избрания език посредством нуждата от задълбочено разбиране на начина, по който функционират и взаимодействат елементите, необходими за изграждане на всеки отделен модул. Тук изучаването на езика вече не е чисто техническо, а се превръща

в творческо - от една страна, тъй като целта е овеществяване на идея, от друга - в по-голямата си част познанията се придобиват чрез серия от експерименти. След провеждане на тези експерименти първоначалният план претърпява промени, често в полза на допълването му, т.е. доразвиването на мисълта протича в процеса на овеществяване.

Като елемент от практическата част на дисертацията бяха създадени 3 синтезатора с Max/MSP и 2 с Reaktor N.I. (Native Instruments).

### 3.2. Избор на среда за програмиране

С осъзнато поет риск от противоречиви реакции тук е редно да бъде искрено признато - изборът именно на Max/MSP и Reaktor не беше обоснован чрез проучване на съществуващите езици и среди за програмиране, завършващ с обективно аргументирани доводи, които водят към него. Вместо това решението беше взето спрямо предварително придобит опит с Max/MSP в курс за начинаещи в IRCAM, Париж, и курсове в MDW, Виена. Скоро след завръщане от обучението във Виена се появи желание за изучаване на Reaktor, провокирано от употребата на комерсиални инструменти, за които се знае, че са създадени чрез него. В настоящия труд няма поставена цел да бъдат сравнени двете програми.

### 3.3. Устройство на Synthan\_Subtra, AddiSyAn и FMAAn - трите синтезатора, изградени чрез Max/MSP)

#### 3.3.1. SynthAn\_Subtra

SynthAn\_Subtra е софтуерен осемгласно полифоничен субтрактивен синтезатор. Включва 5 звукоизточника, 2 филтъра, 8 нискочестотни осцилатора, 20 генератора на обвиваща крива, главен усилвател, миксер за смесване на нивото от петте звукоизточника, матрица за свързването им към филтрите или усилвателя, модул за портаменто и модул за detuning (за

индивидуална височина на тоновете от осцилаторите). Последващото описание на устройството на инструмента е съсредоточено върху компонентите, които се намират в синтезаторния двигател.

#### 3.3.1.1. Звукоизточници

Петте звукоизточника са шумов генератор и 4 осцилатора. Осцилаторите се съдържат в пачър обектите `p Oscillator_1`, `p Oscillator_2`, `p Oscillator_3` и `p Oscillator_4`. Те са абсолютно идентични и са изградени от обектите `tri~`, `rect~`, `saw~`, `selector~ 3`, `*~`, `scope~`, абстракциите `FM_scaled`, `duty_cycle_mod_in`, и субпачовете `p Individual_Amp_EG`, `p Pitch_EG` и `p AM`. Търсен е класически модел на осцилатор, който да предлага избор между различни математически вълнови форми, да има входове за модулация, клавишен контрол над честотата, индивидуални височинни и амплитудни EGs и възможност за синхронизация с друг осцилатор (Фиг. 14, 15, 16).

Шумовият генератор на `SynthAn_Subtra` се съдържа в `patcher` обекта `p noise generator`. Изграждащите го обекти са `noise~`, `pink~` и `selector~ 2` и субпачовете `p AM` и `p Amp_EG` (фиг. 17).

Субпачът `p Detune` изпълнява едноименна функция (`detune` - разстройване) и служи за контролирано отклонение от получената като тон (от клавиатура или друг контролер) честота, поотделно за всеки от четирите осцилатора. Според зададените параметри всеки осцилатор може да бъде настроен на определен точен интервал или на по-малко от полутон разстояние от получената MIDI нота, или точен интервал плюс/минус по-малко от полутон (Фиг. 18).

---

· Посочените фигури са налични в дисертационния труд.

`p Portamento` съдържа 4 субпача с идентичен алгоритъм, отговарящи за времето и кривата, с която ще бъде достигнат следващия тон за всеки от осцилаторите поотделно (Фиг. 19, 20, 21).

В `p hard_sync` е алгоритъмът за синхронизация на вълновите форми на втори към първи и четвърти към трети осцилатор (Фиг. 22).

### 3.3.1.2. Сигнални пътеки на звукоизточниците

Преди да преминат сигналите от всеки `p Oscillator_n` и `p noise_generator` към филтър или усилвател, влизат в отделни `gain~` обекти, които отговарят за нивото на всеки от звукоизточниците. Петте `gain~` плъзгача са смесителния пулт на инструмента, от чиито настройки зависи балансът между четирите осцилатора и шумовия генератор. Изходите им са свързани към входовете на `matrix~ 5 3`, позволяващ всеки един от петте сигнала да бъде насочен към един от трите си изхода, които от своя страна са свързани: първи към филтър 1; втори към филтър 2; трети към главния усилвател.

### 3.3.1.3. Филтри

`p filter 1` и `p filter 2` са еднакви patcher обекти, в които е изграден алгоритъмът за действие на двата филтъра. Използвани са обектите `filtercoeff~`, `biquad~` и `selector~ 3`. `biquad~` е двуполусен (втори разред), IIR (infinite impulse response) филтър, който на първия си вход приема сигнал, а на останалите 5 - коефициентите за уравнението, благодарение на което се извършва конволюция за самото филтриране на получения сигнал. На входовете си `filtercoeff~` очаква съобщения за вида на филтъра, режещата честота, gain и resonance и след като ги получи, автоматично изчислява нужните стойности и ги изпраща през изходите си. Видът на филтъра се определя чрез `umenu` в потребителския интерфейс. (Фиг. 23)



В `p F1FM` и `p F2FM` е изграден алгоритъмът, определящ възможността за модулация на cut-off честотата на филтрите (Фиг. 24).

#### 3.3.1.4. Ниско честотни осцилатори

`p LFOs` съдържа 8 `p LFO_n` (n -номер на нискочестотния осцилатор) и `matrix~ 4 12`. `p LFO_n` пачър обектите са почти същите като `p Oscillator_n`. Обектите и абстракциите, които не присъстват в `p Oscillator_n`, а са необходими за планираното функциониране на `p LFO_n` са `p keyfollow`, `p fade_in`, `cycle~`, `noise~`, `sah~`, `*~ 4`, `rand~` (Фиг. 25, 26).

От изчисленията, извършени в `p keyfollow`, се определя доколко честотата на съответния LFO ще е зависима от честотата на изсвирения тон (Фиг. 27). Чрез абстракцията `fade_in`, според зададени параметри би могло да създава своеобразна крива на обвивка на амплитудата на нискочестотния осцилатор за първите до 7 s на звука (Фиг. 28).

За свързване на осемте LFOs към трите входа за модулационен сигнал на осцилаторите са използвани четири `matrix~ 8 3`, които получават на осемте си входа сигнал от осемте нискочестотни осцилатора, а трите изхода са свързани към входовете “FM in”, “AM(signal)” и “PWM mod in” на `p Oscillator_n`. Всяко LFO може да бъде използвано за контролиращ сигнал за модулация на тези параметри. За свързване към шумов генератор е приложен вариант `matrix~ 8 1`, тъй като възможният вход за модулация чрез LFO при тези модули е един - за AM на шумовия генератор и за FFM на филтрите. SynthAn\_Subtractive позволява пето, шесто, седмо и осмо LFO да бъдат използвани като модулатори за честотна и импулсно-широчинна модулация на първо, второ, трето и четвърто LFO чрез `matrix~ 4 8`.

### 3.3.1.5. Усилвател

Всеки от звукоизточниците в синтезатора има собствен усилвател - \*~ обекта в рамките на p Oscillator\_n], приемащ сигнал от selector~ 3] – p Amp\_EG] и p AM], за да бъде възможна индивидуална амплитудна модулация (например само за първи осцилатор или само за шумовия генератор и трети осцилатор и т.н.). Главният усилвател на SynthAn\_Subtra като модул не се съдържа в единствен едноименен субпач, а е съвкупността от \*~] - приемащ на входовете си сигнал от matrix~5 3] (mixer&routing), който бива умножен по обвиващата крива, генерирана от p Amp\_EG] и p AM], приемащ на първия си вход произведението и съдържащ алгоритъм за амплитудна модулация за общия изходен сигнал (Фиг. 29).

### 3.3.1.6. Генератори на обвиваща крива

Двадесетте генератора на обвиваща крива са следните: 6 x p Amp\_EG] - по един в субпачовете на четирите осцилатора и шумовия генератор и един, свързан към главния усилвател за неперидична амплитудна модулация; 12 x p Pitch\_EG] - във всеки p Oscillator\_n] и p LFO]; p EG\_1] и p EG\_2], свързани чрез selector~ 3] и към двата p FnFM], с възможност за избор между един от тях или p Amp\_EG] за неперидична честотна модулация на филтрите;

p Amp\_EG], p EG\_1] и p EG\_2] са абсолютно идентични класически ADSR генератори с параметри Attack Time, Decay Time, Sustain Level - и Release Time. p Pitch\_EG] са HADR генератори с параметри за настройка Hold, Attack Time, Attack Level, Decay Time и Release Time (Фиг. 30, 31).

### 3.3.2. Общи алгоритми за Synthan\_Subtra, FMan и Addisyan

#### 3.3.2.1. Принцип на звукопроизвеждане

Подточката съдържа подробни пояснения на някои от алгоритмите употребени за прилагане на MIDI протокол в инструментите.

`p SynthEngine_andSomeMIDI` (Фиг. 32), `setMIDIch` (Фиг. 33), `kslider` (Фиг. 34), `p MIDI_input` (Фиг. 35), `p pitchbend` (Фиг. 36)

#### 3.3.2.2. Главен усилвател и генератор на обвиваща крива, свързан към него

Логично, това е последният обект в сигналната верига в рамките на синтезаторния двигател, който бихме могли да обозначим като „главен усилвател“. Сигналят от синтезирания звук влиза в първия му вход. За да се постигне очакваното зазвучаване след натискане на клавиш и отзвучаване след отпускането му, към десния вход на `*~` и при трите синтезатора е свързан идентичен по устройство ADSR генератор на обвиваща крива.

#### 3.3.2.3. MIDI\_CC\_assignment

Подобно на повечето софтуерни синтезатори, MIDI имплементацията на Control Change MIDI съобщения не е твърдо установена, а е гъвкава посредством MIDI-learn функция или ръчно задаване на CC номер. „Главно действащо лице“ е субпачът `p MIDI_CC_assignment` (Фиг. 37), намиращ се в контролиращия интерфейс. В `p MIDI_CC_assignment` се определя и MIDI каналът на инструмента посредством `number`, свързан към трети вход на всеки `p cc#set` и към `send` обект, който го изпраща към едноименния `receive`.

#### 3.3.2.4. За отношенията контролиращ интерфейс – синтезаторен двигател

Обобщено казано, в синтезаторния двигател се намират обектите и алгоритмите, нужни за синтезиране на звук, а в контролиращия интерфейс - обектите и алгоритмите, чрез които се настройват техните параметри. Както при `Synthan_Subtra`, синтезаторните двигатели на `FMan` и `AddiSyAn` също се намират в `poly~` в `p_SynthEngine andsomeMIDI`, в контролиращия интерфейс на конкретния инструмент. Всичко извън съответния `poly~` представлява контролиращ интерфейс. Двата функционални блока комуникират помежду си чрез `send` - `receive` обекти. Нагледно са разграничени понятията - контролиращ интерфейс и синтезаторен двигател. Същевременно поведението на синтезаторния двигател е изцяло зависимо от зададените от контролиращия интерфейс команди и параметри. Зададените числови граници на всеки потребителски обект в интерфейса определят възможностите на двигателя.

#### 3.3.2.5. Общи алгоритми за `AddiSyAn` и `FMan`

Индивидуалните генератори на обвиваща крива в `FMan` и `AddiSyAn` са изградени от `function` обекти и необходимите за привеждането им в действие алгоритми. `function` представлява координатна система, на която е възможно ръчно (чрез клик с мишка) да се „вписват” x-y координати. Графично изображение на функция y на x, определяна по „желание” на потребителя, т.е. вписвайки x-y точки, потребителят рисува крива, която впоследствие при `AddiSyAn` ще бъде амплитудна или височинна, а при `FMan` - амплитудна или “key follow” определяща. Данните се изпращат към контролиращия интерфейс посредством абстракцията `toEngsFEG` (Фиг. 40).

Двата нискочестотни осцилатора са изградени по модела на същите в SynthAn\_Subtra, но без възможности за избор на вълнова форма - използван е само `cycle~`. По същия начин отново по използвания в SynthAn\_Subtra модел е изграден и модул за портаменто, но без да има индивидуален такъв за всеки осцилатор.

### 3.3.3. FMAн

FMAн е софтуерен FM осемгласно полифоничен синтезатор. Изграден е от 6 оператора с косинусоидни осцилатори, 2 нискочестотни осцилатора - за вибрато и тремоло, модул за портаменто, ADSR генератор на обвиваща крива, свързан към главния усилвател на инструмента, и модул за запазване и зареждане на звуци. Всеки от операторите съдържа осцилатор - генератор на косинусоидна вълнова форма, усилвател със свързан към него генератор на обвиваща крива и модул за скалиране на нивото спрямо клавиатура. Всеки оператор може да бъде едновременно сигналоносител и модулатор.

#### 3.3.3.1. Оператори и сигнални пътеки

В рамките на синтезаторния двигател - `FmanEng`, `p OSCFM_n` са шестте оператора на синтезатора (фиг. 41). Сигналят от всеки един `p OSCFM_n` може да бъде изпратен към главния усилвател и/или към всеки от останалите `p OSCFM_n`. Връзката е осъществена посредством шест `matrix 1 6 0` обекта. Всеки `matrix~ 1 6 0`. В `FMAнEng` приема на входа си сигнал от един `p OSCFM_n` чрез `receive~ SignalOpn(voice index)`, а шестте изхода са свързани към усилвател и към останалите пет `p OSCFM_n`.

Поради ограниченията на Мах обратната връзка (feedback) при операторите функционира правилно само когато те не са използвани като модулатори, поради което през гореописаните `matrixctrl` са комутирани

единствено към усилвател. За предотвратяване на възможното подаване на обратна връзка от потребител, който не е прочел или запомнил това правило, в CI се използват алгоритми, включващи `onofftoFBmath` и `p onoffFB ignoreclick atrui inspector` (Фиг. 43).

#### 3.3.4. AddiSyAn

AddiSyAn е софтуерен адитивен, осемгласно полифоничен синтезатор с 8 осцилатора, 17 генератора на обвиваща крива, 2 нискочестотни осцилатора и модул за портаменто.

##### 3.3.4.1. Осцилатори

В рамките на синтезаторния двигател `AddiSyAnEng2016` осцилаторите с алгоритмите за тяхното функциониране се намират в `p OSCA_n` (Фиг. 44).

За разлика от всички останали употреби на `function` като EG, обхватът (range) на апликантната ос на обекта, използван като “Oscillator’s Pitch EG”, може да бъде променян спрямо желанията на потребителя в интервали от четвърт тон до октава. Алгоритъмът за тази промяна се съдържа в контролиращия интерфейс, в абстракцията `fPEGalRaT`.

#### 3.4. Устройство на GrAniS и Watan - двата синтезатора, изградени чрез Reaktor

##### 3.4.1. Watan

Watan е вълново-табличен (wavetable) синтезатор с 2 осцилатора, 8 нискочестотни осцилатора, 1 нископропускащ филтър и 7 ADSR генератора на обвиваща крива. Към всеки от вълново-табличните осцилатори са свързани 2 нискочестотни осцилатора за вълново-таблична, честотна и амплитудна модулация, генератор на обвиваща крива към

индивидуалния усилвател и генератор на обвиваща крива за вълново-таблична модулация. Има индивидуални нискочестотен осцилатор и генератор на обвиваща крива за контрол над режещата честота на филтъра. Отделно синтезаторът има и общо LFO, което може да контролира всеки от осцилаторите и/или филтъра, и EG, свързан към главния усилвател. Сигналят от всеки WTO (съкратено от Wavetable Oscillator) е изпратен с определено от потребителя ниво едновременно към главния усилвател и към филтъра, който на свой ред е свързан към същия главен усилвател. Има възможност самите вълнови форми в таблиците да бъдат нарисувани от потребителя.

#### 3.4.1.1. Осцилатори

В |WTO| са изградени вълново-табличен осцилатор, способ за настройването му, 2 нискочестотни осцилатора, 2 генератора на обвиваща крива и съответно необходимите алгоритми и контроли за желаното и логично свързване на тези елементи. За съставянето на вълново-табличен осцилатор служат модулите `Audio Table` и `Ramp Osc` (фиг. 46).

#### 3.4.1.2. Генератори на обвиваща крива за неперидична вълново-таблична модулация

|WT EG| служи за автоматизиран контрол над WTP (wavetable position, избраната моментната вълнова форма) посредством генератор на обвиваща крива, чийто сигнал минава през изчисления, имащи за цел да зададат на кривата амплитудни числови стойности, които при максимална дълбочина на модулация да бъдат в рамките на възможните за WTP такива (фиг. 47).

#### 3.4.1.3. Нискочестотни осцилатори

Двата идентични нискочестотни осцилатора в рамките на WTO генерират синусоидна, триъгълна, импулсна, трионовидна-възходяща и трионовидна-низходяща вълнова форма. Има опция за синхронизиране на

работните им честоти по MIDI. Изградени са в макро |LFO1| и |LFO2| (Фиг. 48, 49, 50, 51, 52). Макрото |Math to WT| способства за трансформиране на |LFO n| сигнала в стойности, които да са подходящи за вълново-таблична модулация. |Common LFO| е нискочестотният осцилатор на Watan, който може да е модулатор едновременно за всички синтезаторни модули с изключение на Voice Mode. Структурата му е почти идентична с тази на индивидуалните нискочестотни осцилатори.

#### 3.4.1.4. Филтър

Макрото |LPF| съдържа нископропускащ резонантен филтър, нискочестотен осцилатор, служещ за периодична FFM, генератор на обвиваща крива за неперодична FFM, key-follow, и необходимите компоненти за връзката между тези синтезаторни модули (Фиг. 53).

#### 3.4.2. Общи принципи на звукопроизвеждане в Watan и Granis

При натискане на клавиш MIDI note on съобщението в Watan и Granis се възприема и интерпретира от **Gate** и **NotePitch**. **Gate** предава през изхода си скалирани данни за Velocity, а **NotePitch** - за тонова височина.

С цел да има потребителски способ в панела на инструмента, а също да бъдат внедрени unison mode и portamento е използвано потребителско макро |Voice Mode| (Фиг. 55, 56).

#### 3.4.3. Granis

Granis е грануларен синтезатор с 2 осцилатора - „облаци”, (Cloud Oscillators), 6 нискочестотни осцилатора (LFOs), миксер и модул за избор между различни гласови режими (Voice Mode). Самото грануларно звукосинтезиране се извършва чрез двете идентични макрота - |Cloud Oscillator 1| и |Cloud Oscillator 2|, служещи за звукоизточници. За демонстрация на възможностите на инструмента са използвани семпли на



препарирано пиано, записани и обработени като част от предходна образователна задача - собствена версия на музика към филма „Андалуското куче”.

#### 3.4.3.1. Осцилатори - „облаци”

В основата на |Cloud Oscillator n| (Фиг. 58) е - Selected Sample (*Build-In Module>Sampler>Grain Cloud*), а всички останали модули и макрота служат за задаване и контролиране на неговите параметри. Този модул се намира в раздел “Sampler”, тъй като сам по себе си не генерира звук, а използва като материал стерео мултисемпли. Начинът, по който може да чете тези семпли, го превръща в грануларен ресинтезатор с независим контрол над височината, селекцията и позицията на семпъла, както и върху дължината на гранулите. Грануларното ресинтезиране се осъществява чрез разделяне на просвирващата скорост от височината и разцепване на самия семпъл на гранули според зададените дължина и позиция на четеща (pointer position). Има възможност за препокриване (overlap) на гранулите - едновременно или почти едновременно прозвучаване на 2 до 32 гранули - именно тази особеност дава частта от името “Cloud” (бг. пр. - облак) на модула.

Макрото |Sample Selection| овъзможнява 2 метода за избор на семпъл - чрез тригериране на семпъл номер независимо от натиснатия клавиш или чрез тригериране на семпъла според MIDI номер на нотата, към която е назначен семпълът в “Sample Map” редактора.

Функцията на |Sample Reader| е да задава позицията на Grain Cloud четеща, чрез което определя каква част от избрания семпъл ще бъде прочетена и ресинтезирана, както и скоростта на просвирването (Фиг. 59). Практически основната работа - придвижване на четеща на |Selected Sample|, се извършва от Ramp Osc.

Amp EG| е идентичен с |A EG| в Watan.

Шестте модула 1P LFO<sub>n</sub> (*Build-In Modules>Terminal>Receive*) и входовете от 7 до 38 служат за приемане на постъпващ от шестте нискочестотни осцилатора |LFO n| сигнал.

#### 3.4.3.2. Нискочестотни осцилатори

Устройството на нискочестотните осцилатори в |LFO n| е почти идентично с тези на Watan.

Разликата се състои в избора на изчисленията, свързани със скалиране на LFO сигнала съобразно с вида и зададената дълбочина на модулацията, също да се съдържат в рамките на тези макрота, в |Depth to G-Cloud n|. Освен като амплитудни и честотни модулатори |LFO n| може да послужат за периодична промяна на дължината на семпъла, позицията и скоростта на четеща, дължината и припокриването на гранулите.

#### ЧЕТВЪРТА ГЛАВА

### Основи за създаване на музикално произведение, представящо някои от възможностите на Granis, Watan, FMan, Addisyan и Synthan\_Subtra. Осъществяване на GraWaFAddSu

#### 4.1. Темброви първообрази и класификация на осъществяването им чрез синтезатор

За целите на настоящия труд понятието „тембров първообраз” е използвано да се обозначи тембровата представа възникваща след първото вслушване в звук, чийто тембър е бил непознат за слушателя до този миг. Думата „вслушване” е от особено значение в предложеното определение, подчертаваща взаимността на събитието като условие за неговото случване. При развит музикален слух *тембровият първообраз* нерядко оставя спомен, който може лесно да изплува в съзнанието при „повикване”.

За да се яви с конкретен тембър нова музикална мисъл или спомен за нея във въображението, *тембровият първообраз* за този тембър трябва да е предварително създаден в паметта. Музикалната култура и образование предполагат такъв тип трайни спомени за тембъра на повечето традиционни музикални инструменти да бъдат изградени още в сравнително ранна възраст. Обичайна практика е композиторите да работят с така формираната се палитра, но по същия начин, както се случва чрез вътрешния си слух да чуват собствена музикална идея, е възможно и да си представят въображаем *тембров първообраз*, изпълняващ такава идея, внедрявайки го като действително съществуващ, макар и само за своето съзнание. В такъв случай при осъществяване на хрумването в музикална творба изборът ще е или да се приспособи тембърът според наличните тембри, или да бъде потърсен възможно най-близкият до въображаемия. Именно в търсене на „най-близкия до въображаемия” синтезът на звук може да бъде централно изразно художествено средство.

#### 4.1.1. Измислен тембър

Звук, който е изграден по подобие на появил се във въображението на синтезист *тембров първообраз*, следва да бъде назован с класифициращото определение *измислен тембър*. *Измисленият тембър* може да е изникнал в съзнанието като въображаем *тембров първообраз*: в търсене на тембър, изразяващ точно конкретна музикална мисъл, или търсен звуков ефект; случайно, непреднамерено в миг на моментно вдъхновение, едновременно с музикална мисъл или самостоятелно като отражение на слухово-сетивно предизвикващо усещане.

Процесът на синтезиране на *измислен тембър* винаги представлява експеримент, чийто успех е зависим от знанията и уменията на синтезиста, както и от възможностите на инструментите, с които той/тя разполага. Изграждане на собствени инструменти е следваща стъпка в развитието, гарантиращо като последствие по-задълбочени познания и способности не само относно авторско създадените, но и за останалите подобни на тях инструменти, което ще отекне в по-успешни експерименти при синтезиране на *измислен тембър*.

#### 4.1.2. Случаен тембър

Самообучението на синтезиста неминуемо преминава през етапи на чисто експериментиране - без поставена цел за имитация или създаване на *измислен тембър*. При такива опити нерядко се стига до изграждане на *темброви първообрази*, който може да бъдат творчески употребени на момента или ако инструментът позволява, да се запазят за последващо ползване. Сътворен по този начин звук следва да се класифицира с названието *случаен тембър*.

#### 4.1.3. Намерен тембър

Предварително програмираните (preset) синтезаторни звуци, които не са целенасочена имитация на съществуващи тембри, са *измислени* или *случайни*. Откритието на синтезаторни *темброви първообрази* не е преимущество само за синтезистите - техните авторски *измислени* или *случайни тембри*, запазени като preset в комерсиални инструменти, може да се превърнат в *тембров първообраз* за потребителя независимо от това, дали самият потребител е синтезист. Всъщност това е по-често случващото се изграждане на синтезаторни *темброви първообрази*, при което би следвало резултатът да се класифицира като *намерен тембър*.

#### 4.1.4. Темброви първообрази като средство за вдъхновение

Композиционно един звук не съществува сам по себе си в изолация без значение дали става въпрос за звуков дизайн или музикално произведение - винаги е във връзка с останалите и същевременно представлява плътта, в която е материализирана дадена идея, събудила у автора и целяща да предизвика у слушателите усещане, породено от осъзнати и неосъзнати асоциации за преживявания и чувства. Новозвучащ за композитора *случаен* или *намерен* тембър може да се превърне във възбудител на музикална мисъл. Такъв вид вдъхновение е възможно да се случва както инцидентно по време на опознавателна сесия със синтезатор, така и обмислено целенасочено. Понякога е достатъчен само един тон, изсвирен с *намерен* или *случаен тембър*, за да бъде даден тласък на появата на представа за цяла творба, ако по някакъв начин с тембъра си е пробудил нещо в композиторското въображение, което копнее да бъде осъществено и споделено.

Важно е да бъде уточнено и подчертано, че понятието *тембров първообрази* неговите производни са субективно проявяващи се - става

въпрос не за напълно непознато за всички човешки същества качество на звука, а за новозвучащо в ума на възприемащия или представящия си. Докато в недалечното минало електричеството, употребено за създаване на нов тембър, е било действително новозвучащо за цивилизацията ни, днес то е така развито и изобилно използвано, че е почти сигурно - непознатият за някого звук ще е много подобен или дори същият като вече съществуващ. Поради същата причина за голяма част от слушателите дори обективно нов уникален тембър няма да бъде изненадващ, даже напротив - налице е особено изискване за уникалност по отношение на електронните тембри, и неуспех за покриване на това изискване може да доведе до разочарование и отхвърляне. Същевременно някои електронни звуци са станали шаблонни, желани и очаквани. Когато синтезистът е композитор, при създаване на музикално произведение, ако цели определена публика, трябва да е взел решение за баланса между търсенето на уникалност и ползата от употребата на желана шаблонност, като такъв баланс е ключов за възприемането. Несъмнено по-искрен и себеизграждащ подход е той/тя да не се съобразява с подобни ограничения, а да се вслушва в единствеността на собствените си гласове.

#### 4.2. Безплътна мелодия

Професионално окачествяващи, но и понякога сякаш романтично идеализиращи са композиторските разкази, за това, как елементите на творбата изникват в съзнанието в своята цялост, в нощен или дневен сън, съвсем ясно, звучащи като истински. Подобно твърдение няма как да бъде оспорвано - никой не може да „влезе“ в ума на друг, за да провери. Проучвания върху мозъчната дейност може да доведат до научни доказателства за част от реалността, но не и да „преведат“ разбираемо и изцяло достоверно субективните усещания. Затова тук следва споделяне на наблюдение от личен опит, което няма как да изяви претенции за

общовалидност, а само да бъде предполагаемо, че е възможно да се забележи и от други.

Да, един от начините, по които се явява музикална идея, е тя да прозвучи във вътрешния слух ярко, с осезаем тембър така, както би съществувала в действителност. Но е възможно такава поява да бъде някак като сянка, в мъглявина, и най-вече без тембър, колкото и да е невъзможно да изглежда това за някой, на когото никога не му се е случвало. Именно такава музикална мисъл наричам *безплътна мелодия*, като думата „мелодия” е употребена метафорично - може да не е мелодия, а например само ритмична фигура или неясен, но развиващ се във времето по определен начин „звук”, всякакъв вид въображаемо музикално събитие, при което тембърът липсва в представата.

Уплътняване на *безплътна мелодия* означава отембряването - моментът, когато бъде изсвирена на музикален инструмент, за да чуе композиторът едно нейно действително звучене, или при развитието ѝ все още във вътрешния слух, когато творецът намери тембъра ѝ в съзнанието си. Ако *безплътна мелодия* се яви на синтезист по време, когато той/тя е в процес на създаване на *случаен тембър*, е почти сигурно, че до момента направеният синтезиран звук ще стане *случаен тембър* и ще послужи за нейното уплътняване. По същия начин, ако *безплътна мелодия* се яви у композитор, който скоро след това възприеме *намерен тембър*, вероятно ще избере именно *намерения тембър* за уплътняване. Разбира се, това не изключва в последващо развитие в музикална творба така отембрената музикална мисъл да бъде използвана с различен звук, но именно такава уплътняване може да предизвика концепция за самата творба, както изначално, така и в разработка.

### 4.3. Автоматично свирене

По време на звукосинтезиране синтезистът неминуемо свири на инструмента, за да слуша резултата от труда си. Музикалното съдържание на такова свирене не е от съществено значение в такъв момент и от емоционална гледна точка е напълно безцелно. Може да бъде позната мелодия, отделни несвързани ноти за проверка на звученето в различни регистри или просто някаква свършено необмислена импровизация - каквото ръката сама реши да изсвири. Но тук има уловка - как така ръката сама ще реши какво да свири? Ясно е, че това е невъзможно, решава не ръката, а музикантът, но в този случай умът му е зает в друга посока и решението е несъзнателно. Такъв тип музициране всъщност не би следвало да се нарича импровизация - при импровизация музикантът съзнателно търси в себе си музиката и се съобразява с определени стилистично насочващи модели, стремежът е да има смисленост в изграждането. По-точно наименование на гореописаното неосъзнато и необмислено музициране би било *автоматично свирене*, по сюрреалистичния метод. Предимството на *автоматичното свирене* при звукосинтезиране е, че със самата си безцелност много по-лесно може да стигне до съдържание в несъзнаваното, отколкото при музикална импровизация, автоматично писане или рисуване, които въпреки призова си за спонтанност като поставено условие биват преднамерени в стремежите си. Въпреки че най-често „музиката”, случила се чрез *автоматичното свирене* не безпричинно остава само между синтезатор и синтезист, понякога така може да бъде осъществена музикална мисъл, която е присъствала в несъзнаваното на композитора, *безплътна* или не, но сега ставаща директно изразена още преди да е била въображаема в съзнаваното. По този начин намерена идея, ако предизвика вслушване в себе си и успее да провокира композитора у синтезиста, може да послужи като елемент от или дори основа за творба.



#### 4.4. Експериментът GraWaFAddSu

##### 4.4.1. План

Granis, Watan, Addisyan, FMan и Synthan\_Subtra бяха изградени, от една страна, за повишаване синтезистската квалификация на „строителя” си в процеса на изграждане, но от друга - за да няма място за съмнение, че в музикалния пример ще са включени единствено и само авторски звуци. За и чрез новите синтезатори следва да бъде създадено ново музикално произведение, в което няма да се търси каквато и да било връзка с предишно съществуващи, без обаче да се ограничават съзнателно възможните въздействия от различни жанрове, оказали влияние на автора. Поставените условия за изпълнение съобразно с тезата, че звукосинтезирането може да се използва като средство за вдъхновение, са:

- употреба единствено и само на *измислени и случайни* тембри;
- преимущество на *безпътните мелодии* и теми, намерени чрез *автоматично свирене*;
- всеки да се изяви самостоятелно с различни тембри във времеви рамки между 30 s и 1 min в обратен ред спрямо реда на изграждането им;
- пълна свобода на изказа без право на самокритичност и цензура по отношение на явяващия се тематичен материал, включително за количеството му, за да бъде стимулирана спонтанността.
- Чрез така поставените условия, като допълнение към тезата, се представя и своеобразно упражнение по композиция за синтезисти.

##### 4.2.2. Изпълнение на плана - осъщественото GraWaFAddSu

В аудиофайла, включен в Приложение 2<sup>1</sup>, наречен GraWaFAddSu, звучат:

---

<sup>1</sup> Налично в дисертационния труд - в CD към хартиент носител или допълнително приложени архивирани файлове.

- От 00:00:00 до 00:01:37 - шест нови тембъра, синтезирани в Granis. Тъй като синтезаторът е семплер-базиран, тук се чува единственият сред тембрите, който не може да се категоризира като *измислен* или *случаен* - с настройки, включващи дължина на гранулата 265 ms и минимално припокриване, ясно звучи loop на семпли от препарирано пиано, но вследствие на така получената се ритмична фигура бяха *измислени* останалите, звучащи в тази част, тембри.

- От 00:01:14 до 00:02:24 - седем нови тембъра, синтезирани с Watan.

- От 00:02:18 до 00:03:26 - девет нови тембъра, синтезирани с FMan.

- От 00:03:16 до 00:04:14 - седем нови тембри, синтезирани с Addisyan.

- От 00:03:53 до края - осем нови тембъра, синтезирани с Synthan\_Subtra.

Всеки от тези звуци може да се намери в Приложение 2 и да бъде прослушан след зареждане в съответния синтезатор.

## Заклучение и изводи

Същинските изразни и художествени възможности при синтеза на звук са творческите. Историческите проучвания отвеждат към съждението, че още на идейно ниво синтезаторите са замислени като средство, чрез което желаещите музиканти да въведат в своята „палитра” тембрите на звучащото, човешки овладяно електричество, от една страна отразявайки по този начин в изкуството си значителен елемент от действителността, а от друга - за да имат способ, чрез който възникват условия изначално сами да определят осъщественото звучене на свое произведение. Видовото разнообразие, продължаващото общо развитие и индивидуалните синтезаторни характеристики налагат опознавателния процес за тези инструменти към момента да няма крайна точка. Възможността за изграждане на собствени синтезатори, подпомогната и улеснена от напредъка на цифровите технологии, може да послужи както за усъвършенстване на личните умения, така и за нов прием за встъпление в музикално творческо дело, започващо още от създаване на самите тембри. Практическата част на настоящия труд представя едно от възможните приложения на това твърдение, следвайки предложени авторски дефинирани и категоризирани похвати, чрез които звукосинтезирането би могло да бъде отключващо за креативността. Създадени са: пет нови софтуерни синтезатора - Granis, Watan, FMan, Addisyan и Synthan\_Subtra; общо тридесет и седем тембъра, синтезирани чрез тях, тридесет и шест от които са *измислени* или *случайни*, а всички са послужили за композиране на GraWaFAddSu - произведение за новите синтезатори. Навярно по-сполучливо музикално би било съчетанието на така изградените тембри с традиционни музикални инструменти и в търсене на по-дълбоки послания, но за освободена от тежестта на технологичния аспект употреба е препоръчително всеки желаещ да премине през подобен експеримент.

Въображението позволява на вдъхновението да се яви под всякаква форма, включително като тембров първообраз *-намерен, измислен* или *случаен*, осъществен или очакващ да бъде звукосинтезиран.

### Самооценка на приносите

1. В дисертационният труд е представен цялостен опит за изучаване на историята, произхода и развитието на синтезаторите, който интегрира времеви координати, технически характеристики и творчески постижения, и има самостоятелно научно-познавателно значение.
2. Категоризирани са видовете синтезатори, дефинирани са основни понятия и са представени принципите и видовете на звуковия синтез като нова форма на музикално-творческа креативност.
3. Създадени са пет оригинални софтуерни синтезатора.
4. Теоретичен принос на автора е въвеждането на понятията *тембров първообраз, безплътна мелодия* и *автоматично свирене* като част от творчески съзидателен процес, вдъхновен от звукосинтезирането.
5. Оригинално музикално произведение, представящо петте авторови синтезатора и *тембровите първообрази*, създадени чрез тях представя едно възможно практическо приложение на новите авторови понятия и категории.

## НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД:

- 1. Основи за създаване на музикално произведение, вдъхновено от процеса на звукоинтезиране** – Музикален логос, май 2018, ISSN: 2534-8973 [http://galerianadumite.bg/index.php/osnovi-proizvedenie-za-szdavane-na-muzikalno-vdhnoveno-ot-protsesa-na-zvukosintezirane-predstavyashho-nyakoi-ot-vzmoznostite-na-novoszdadenite-granis-watan-fman-addisyan-synthan\\_subtra-softuerni-s/](http://galerianadumite.bg/index.php/osnovi-proizvedenie-za-szdavane-na-muzikalno-vdhnoveno-ot-protsesa-na-zvukosintezirane-predstavyashho-nyakoi-ot-vzmoznostite-na-novoszdadenite-granis-watan-fman-addisyan-synthan_subtra-softuerni-s/)
- 2. Произход и развитие на синтезатора. Ранни експерименти.** – Независим музикологичен портал, 2018г., ISSN: 2534-9279 <http://www.musicology-bg.com>
- 3. Развитие на креативното мислене чрез създаване на софтуерни музикални инструменти. Премиерно представяне на синтезаторите SynthAn\_Subtra, AddiSyAn и FMAн** - Докторантски четения, НМА „Проф. Панчо Владигеров“, 2016 г., ISSN 2367-4873
- 4. Ранна звукозаписна и звуковъзпроизвеждаща техника в ролята на електронни музикални инструменти** – приета за печат в Алманах на НМА, бр. 9 (2018), ISSN 1313-9886