

Гончаров Я., студ. гр. 216 а ФМИ
БГУКИ
Научный руководитель – Смирнова И.А.,
кандидат искусствоведения, доцент

ЭЛЕКТРОННАЯ МУЗЫКА: ВИДЫ И ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА ЗВУКА (СУБТРАКТИВНЫЙ, ФОРМАНТНЫЙ, ТАБЛИЧНО-ВОЛНОВОЙ)

Термин «синтез» происходит от [греческого](#) слова *σύνθεσις* (соединение, сочетание), в содержание понятия которого входит соединение и взаимодействие элементов, а также разнообразных явлений, вещей, качеств, противоположностей или противоречивого множества в единство, в котором противоречия и противоположности сглаживаются или снимаются. Результатом синтеза является совершенно новое образование, свойства которого есть не только внешняя сумма свойств компонентов, но также и результат их взаимопроникновения и взаимовлияния [1].

Известно, что во всех видах искусства с начала их формирования постоянно ведутся поиски новых выразительных средств. В музыке этот процесс начался с повышенного интереса человека ко всем физическим явлениям, использующим колебания различных сред для воспроизведения звука – процесс, который в дальнейшем воплотился в создание и совершенствование музыкальных инструментов [2].

Задолго до того как появилась электронная музыка, у композиторов существовало желание использовать вновь появляющиеся технологии в музыкальных целях. Было создано несколько инструментов, в конструкциях которых были использованы как механические, так и электронные составляющие. Именно эти инструменты и проложили путь для появления более совершенных электронных инструментов, идеей создания которых послужило совершенствование и создание нового вида музыкального звука.

Термин "звук" определяет два понятия: 1 – звук как физическое явление; 2 – звук как слуховое ощущение. Физический характер

музыкального звука определяется несколькими свойствами. В их число входят: высота, громкость и тембр. Кроме того, в музыке имеет большое значение длительность звука, поскольку именно от длительности его звучания зависит художественное содержание звука, его "настроение" и эмоциональное наполнение [3].

Электронная музыка оперирует звуками, которые образуются при использовании электронных технологий и электромеханических музыкальных инструментов. Примерами электромеханических музыкальных инструментов могут служить теллармониум, [орган Хаммонда](#) и [электрогитара](#). Чистый электронный звук в электронной музыке получают, применяя такие инструменты, как [терменвокс](#), [синтезатор](#) и [компьютер](#) [4].

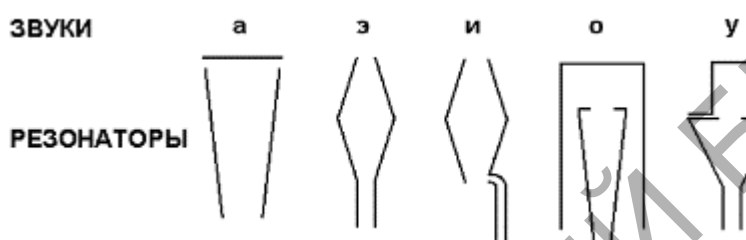
В электронной музыке существуют несколько видов создания звука. Среди наиболее интересных являются субтрактивный, формантный и таблично-волновой.

Субтрактивный (Subtractive Synthesis) синтез является одним из самых распространенных методов синтеза звука. Его принципы используются во многих современных синтезаторах. Этот метод основан на вычитании элементов звука друг из друга. В синтезаторах определяющим элементом субтрактивного синтеза является наличие фильтров. Фильтр как бы «вырезает» часть спектра из звука, формируя тем самым нужную тембральную окраску.

Большинство аналоговых синтезаторов по факту являются субтрактивными, но и любой цифровой синтезатор, имеющий фильтр, позволяет применять этот метод.

В основе формантного синтеза (Formant Shaping Synthesis) лежит воссоздание в спектре звука акустических резонансов, которые формируются из групп обертонов, называемых формантами. Изначально формантный синтез ассоциировался с синтезом речи. Речевой аппарат человека устроен таким образом, что нос и глотка являются, по сути, природными [фильтрами](#).

В процессе формирования звука эти фильтры чисто механически принимают определенные формы, исходя из которых в звуковом потоке образуются группы акустических резонансов, «сгустки» обертонов. В зависимости от частот, на которых появляются резонансы, и от структуры взаимодействия частот и амплитуд резонансов в спектре, наше ухо различает те или иные фонемы, то есть звуковое выражение букв. На картинке изображены формы резонаторов для воссоздания звуков разных гласных букв. Таким образом, имея возможность проанализировать спектры всевозможных фонем, мы получаем возможность их синтезировать.



Полезность этого метода была очевидна для передачи сигналов, несущих речевую информацию на большие расстояния посредством кодирования их в пункте передачи и декодирования по обратному алгоритму в пункте приема. На этом построен принцип работы вокодера, который при анализе речи разбивает спектр на полосы, выявляет в них резонансы, а затем преобразует обратно в звуковой сигнал. Конечно, полного сходства с источником сигнала получить невозможно, но добиться доступности для понимания передаваемой информации вполне реально.

Каждая фонема содержит в себе несколько формант. Чем больше формант воссоздаст вокодер, тем яснее и доступнее передаваемая информация. Гласные звуки становятся разборчивыми при воссоздании уже первых трех групп резонансов. А при воспроизведении четырех уже можно говорить о довольно точной передаче речи. Пока человек произносит одно слово, резонансы его голоса постоянно перемещаются по всему частотному спектру в зависимости от фонемного состава этого слова.

Важной особенностью формант является неизменность их частот для каждой конкретной фонемы вне зависимости от высоты извлекаемой ноты.

Например, форманты гласной «о» появляются на частотах 275, 850, 2400 герц, форманты «а» – на частотах 575, 900, 2450 герц, и так далее.

Зная это, совершенно очевидным становится факт, что для формирования фонем совершенно необязательно иметь источник человеческой речи. Можно просто создать резонансы на нужных звуковых частотах для придания звуку соответствующей фонемной окраски. Функция выделения резонансов возлагается на специальные формантные [фильтры](#), работающие по тому же принципу, что и человеческая носоглотка, однако уже не механическим способом, а электронным.

Одним из ярких примеров устройств, работающих на основе воспроизведения в спектре акустических резонансов, является Yamaha FS1R, объединившая в себе два вида синтеза – формантный и [частотную модуляцию](#). Другим примером можно назвать синтезатор Kawai K5000 в различных его модификациях, который, генерируя сигнал [аддитивным методом](#), оснащен формантными фильтрами для создания звуков по описанному выше принципу. Звуки, получаемые на этих инструментах, могут быть близки своей окраской к человеческому голосу или хору голосов.

Таблично-волновой синтез (Wavetable Synthesis) основан на последовательном воспроизведении ограниченных по длительности циклических волновых форм, которые расположены в памяти инструмента (синтезатора) в виде матрицы, таблицы [5]. Сама последовательность вызова той или иной волны, динамические изменения спектра, амплитуды и других ее характеристик задаются специальной псевдопериодической функцией (зависимостью). При этом следует отличать понятие «волновая форма» от понятия «семпл» (англ. *Sample* – относительно небольшой [оцифрованный звуковой фрагмент](#)) [4].

В данном контексте волновая форма представляет собой маленький фрагмент (период) семпла, некий базовый элемент, способный передать спектральные характеристики звука. В отличие от [линейно-арифметического синтеза](#), где волновая форма используется для передачи атаки звука,

таблично-волновой синтез обычно оперирует более поздним фрагментом семпла, называемым «сустейном» (англ. Sustain – продолжительность звучания извлеченной ноты). Таблица, безусловно, может содержать и другие части семплов, в том числе и атаки, как его части. В качестве фрагмента может быть задействована и одна из «классических» волновых форм, знакомых из аналогового синтеза: синусоидальная волна (sine wave), пилообразная волна (saw wave), треугольная волна (triangle wave), прямоугольная волна (square wave) или ее модификация – pulse wave.

Важно понять, что волновая форма – это не просто абстрактный математический график, это информация о спектрально-гармоническом составе звука, и именно она определяет его основные тембральные характеристики.

Заданная матрица служит таблицей данных для функции, которая будет описывать тембральную и динамическую структуру генерируемого сигнала. Говоря простым языком, синтезатор в каждый конкретный момент вычленяет из матрицы определенную волновую форму и циклически воспроизводит ее в течение заданного этой же зависимостью промежутка времени. Скорость воспроизведения периодической волновой формы определяет частоту звучания сигнала (pitch) таким образом, давая возможность извлекать различные ноты, и задействуя минимум аппаратной памяти. Иногда в таблицы также включаются отрезки волн различной частоты, сгенерированные одним и тем же источником. Например, в качестве генератора может выступать и человеческий голос. В этом случае волновая форма несет в себе информацию о [формантах](#). А поскольку изменение частоты формант повлечет за собой серьезное изменение тембра синтезируемого «голоса», в некоторых случаях может понадобиться более одной волновой формы на весь диапазон. Хотя, безусловно, все зависит от целей, которые перед собой ставит [саунд-дизайнер](#).

Очень важной деталью таблично-волнового синтеза является принцип, по которому волны сменяют друг друга внутри заданной

последовательности. Очевидно, что, если длительность звучания отдельной волновой формы в структуре звука задается параметром времени, то совершенно необязательно, что завершение звучания волны каждый раз будет приходиться на фазу, при которой амплитуда сигнала равна нулю. Чаще всего волновые таблицы организуются таким способом, при котором каждая волна начинается и заканчивается нулем. В любой точке, отличной от нуля, резкое прерывание волны приведет к появлению нежелательных артефактов – неприятных для слуха щелчков и шумов. Решение задачи устранения этих элементов реализуется в таблично-волновых синтезаторах следующими способами. Среди них:

- линейный кроссфейд (crossfade). В этом случае первой волне дается команда плавного затухания, а второй – плавного повышения громкости. При этом затухание первой и нарастание второй происходят в один и тот же промежуток времени, что обеспечивает незаметный динамический переход;
- транкейт (truncate – урезание, отсечение) и раундинг (rounding — округление). Транкейт предполагает простое отбрасывание неполной волновой формы. При раундинге происходит не отсечение, а округление периода до целого значения;
- интерполяция или математическое приближение. Посредством этого способа на стыке волновых форм появляется новая промежуточная форма, являющаяся результатом усреднения функций двух смежных волн в рамках части периода, приходящейся на время перехода.

Первый принцип таблично-волнового синтеза заключается в функционально упорядоченном механизме последовательного вызова из матрицы и воспроизведения различных волновых форм. Вторым характерным моментом этого вида синтеза является динамическое изменение воспроизводимых волн. Оно заключается в воздействии на полученную результирующую волну последующими средствами синтеза, такими как [фильтры](#), генераторы огибающих (EG, Envelope Generator), низкочастотные осцилляторы (LFO), различные средства модуляции, динамическая обработка

и процессоры эффектов. Все эти изменения могут производиться с помощью математических функций, описывающих степень влияния того или иного параметра на генерируемый сигнал в каждый конкретный момент времени.

Родоначальником таблично-волнового синтеза является немецкая фирма Palm Products GmbH (PPG), выпустившая серию синтезаторов Wave и программатор Waveterm. Цифровой таблично-волновой синтез был дополнен аналоговыми фильтрами, параметры которых, в числе прочего, контролировались программатором. Приемниками PPG в области этого типа синтеза стала компания Waldorf, в продукции которой применялись как цифровые, так и аналоговые фильтры.

Кроме того, таблично-волновой синтез может перекликаться с [векторным синтезом](#), и тогда вместо математических функций воздействие на звук оказывается вручную с помощью специального джойстика (примеры таких инструментов – Sequential Circuits Prophet VS и Korg Wavestation).

Иногда wavetable также ассоциируют с [аддитивным синтезом](#), исходя из того, что в качестве элементов таблиц могут использоваться обычные синусоидальные волны. Поскольку таблично-волновой синтез позволяет управлять взаимным расположением волн, в том числе и наложением их друг на друга (суммированием), амплитудой и фазой, это и позволяет проводить параллели между этими двумя видами синтеза. Однако, обычный аддитив предполагает гораздо большие затраты ресурсов, чем вэйвтейбл.

Чем объемнее таблицы волновых форм, заложенные в музыкальный инструмент (синтезатор), тем более многогранные результаты он может дать.

В целом, таблично-волновой синтез дал возможность [саунд-дизайнерам](#) работать с обширной звуковой палитрой, не привлекая для этого большие объемы аппаратной памяти. Поэтому появление этого синтеза в свое время стало особой вехой в истории развития синтезаторов. Однако, спустя какое-то время термин «wavetable» стал иногда применяться в качестве синонима PCM, то есть обычного понятия «семпл». Следует

внимательно относиться к спецификациям инструментов, если объектом поиска является именно классическое понимание вэйвтейбл-синтеза.

Список использованной литературы:

1. <http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php>
2. Артемьев, Э. Заметки об электронной музыке /Э. Артемьев // "Music Vox" N 1(10) - 2(11) // Электрошок – 1998. [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electroshock.ru/> . – Дата доступа: 20.10. 2010.
3. <http://www.7not.ru>.
4. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.
5. Robinson, A. Основы синтеза звука / А. Robinson. – Computer Music Special. – № 26. – 2010. – с. 20-22.