

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

РЕФЕРАТ

На тему: Частотная модуляция

Выполнил: _____

Группа 233-12

Принял(а): _____

Ташкент – 2014

Содержание:

Частотная модуляция.....	3
История	3
Предпосылки и понятия	3
Технология	4
Инструменты.....	5
Субтрактивный синтез.....	8
Основные виды фильтров	8
Параметры фильтров	9
Дополнительная информация.....	9

Частотная модуляция

Частотная модуляция, FM-синтез (Frequency Modulation, FM-synthesis) — это тип синтеза, при котором тембр звука формируется воздействием одной простой волны на другую с целью изменения ее частоты. Под воздействием частотной модуляции возникают более спектрально богатые и сложные звуки, которые невозможно получить другими типами синтеза.

История

Принцип частотной модуляции описал в 1933 году **Эдвин Армстронг (Edwin Armstrong, США)**, технологию синтеза посредством частотной модуляции разработал **Джон Чунинг (John Chowning)** в 1973 году, а в 1977 году все права на нее получила фирма **Yamaha**, которая вскоре закрепились как монополист в области этого типа синтеза.

Предпосылки и понятия

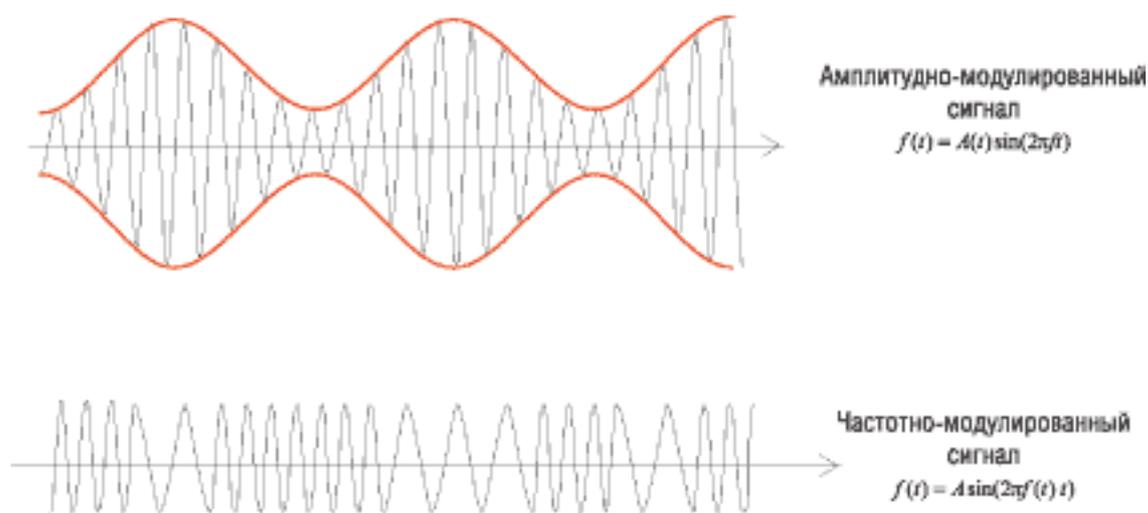
Модуляцией называется воздействие одного сигнала на другой с целью изменения его формы. Сигнал, осуществляющий модуляцию, называется модулирующим, а сигнал, который подвергается воздействию модуляции — несущим.

Существуют различные виды модуляции сигнала. Наиболее часто в синтезаторах применяется модуляция посредством низкочастотного осциллятора (**LFO**). В зависимости от направления модуляции, с помощью **LFO**, например, можно получить эффект вибрато по высоте (если воздействие происходит на частоту сигнала), громкости (воздействие на амплитуду, называется также тремоло) или тембру (воздействие на спектр посредством фильтра).

Однако, несмотря на большую значимость модуляции низкочастотным осциллятором для исполнительской выразительности, это самый примитивный пример модуляции.

FM-синтез предполагает более сложную систему взаимодействия генераторов волн, и обычно в синтезаторах этого типа используется не менее 4 осцилляторов, с подачи **Yamaha** в данном контексте именуемых «операторами».

Технология



Для того, чтобы понять, что происходит со звуковой волной под воздействием частотной модуляции, и чем она отличается от амплитудной, достаточно взглянуть на картинку. В первом случае мы видим, что по определенной функции изменяется амплитуда колебаний несущей волны, а во втором — частота. В отличие от модуляции посредством **LFO**, при котором частота самого модулирующего сигнала обычно остается за рамками воспринимаемого человеческим ухом диапазона, в случае FM-синтеза модулятор и сам попадает в этот диапазон. А поскольку каждый из задействованных операторов может модулировать другие, возникает огромное разнообразие возможных

тембральных оттенков. Один сигнал усложняет другой посредством частотной модуляции, второй, в свою очередь, воздействует на третий, и так далее.

Очевидно, что для осуществления таких сложных операций возможности аналоговых синтезаторов были слишком скудными, а потому становление и развитие ФМ-синтеза стало возможным только с приходом эпохи цифровых синтезаторов.

Инструменты

Первое появление частотной модуляции на рынке синтезаторов связывают с инструментом **Synclavier** фирмы **New England Digital (NED)** в 1975 году. Однако уже в начале 80-х **Yamaha** выпускает один из самых значимых для истории синтезаторостроения и для электронной музыки в целом инструмент — **Yamaha DX7** с применением технологии ФМ-синтеза. Звук **DX7** формируется посредством взаимодействия шести операторов по заданным алгоритмам.

Каждый оператор генерирует синусоидальную волну (**sine wave**) задаваемой частоты. Возможность получения широкого спектра звуков, полифония 16 голосов, стабильность в работе, легкий вес и доступная цена — все эти факторы сделали «семерку» самым продаваемым инструментом в мире, а фирму Ямаха — вытолкнули в лидеры индустрии клавишных инструментов.

К недостаткам этого инструмента многие относят сложность программирования. Действительно, работа с этим инструментом не имеет ничего общего с программированием аналоговых синтезаторов, но при определенных навыках и опыте результат может быть очень интересным. Правда, главной характерной чертой ФМ-синтеза всегда была непредсказуемость результата — можно получить много хороших звуков, но практически нельзя предугадать, к чему приведут эксперименты. Попытку разрешения проблемы программирования синтезаторов серии DX предприняла фирма **Jellinghouse Music Systems (JMS)**, выпустив на рынок программатор (см.

на фото). Этот прибор дает доступ практически ко всем параметрам синтеза привычным для всех саунд-дизайнеров методом. К сожалению, этих приборов было выпущено всего лишь 25 штук, и приобрести себе экземпляр практически не представляется возможным.



Позже последовали различные модификации **DX7**, в том числе настольная версия **TX7**, мультитембральные клавишные версии **DX7S**, **DX7HD**, **DX7HFD** и рэковая **TX802**, а также другие инструменты с иным количеством операторов (например, модель **DX11** и ее рэковая версия **TX81Z** имеют 4 оператора). Другая модель этого же ряда, **DX5**, имела два тон-генератора **DX7** в одном корпусе, а рэковый монстр **TX816** — сразу аж восемь!

Последующие разработки Ямахи в этой области оказались не менее интересными, в 1990 году выходит легендарный **SY77** и его рэковая версия **TG77**, а потом и более навороченный **SY99**. Эти инструменты от предшественников отличало, главным образом, наличие фильтров, которые давали инструментам все возможности субтрактивного синтеза, а также использование семплированных звуков (**AWM**), которые можно смешивать со звуками, синтезированными путем частотной модуляции. Кроме того, на борту этих инструментов был встроенный процессор эффектов, которого так не хватало ранним моделям.

Вершиной FM-синтеза от **Yamaha** стал модуль **FS1R**, заключавший в себе возможности 8-операторного ФМ и формантного синтеза (**Formant Shaping Synthesis**). Однако, как это случилось и с многими другими синтезаторами конца 90-х, уникальная научная разработка не была оценена по достоинству пользователями и через год инструмент был снят с производства.

Другие производители также задействовали FM-синтез в своих разработках, правда, поскольку патентом на технологию обладала Ямаха, в названиях приходилось использовать другую терминологию, чтобы избежать конфликтов.

Например, фирма **Casio** в середине 80-х выпустила серию синтезаторов **CZ**, с типом синтеза, схожим с частотной модуляцией, но названным **Phase Distortion Synthesis**(**синтез фазовых искажений**). Фазовая модуляция — это одна из разновидностей частотной модуляции. Частота при этом типе модуляции остается неизменной, но происходит воздействие на фазу волны, что позволяет также достигать интересных результатов.

Фирма **Korg** в 1987 году представила модель **DS-8**, работающую на основе 4-операторного FM-синтеза и снабженную цифровыми эффектами. Окрас инструмента очень своеобразный, индивидуальный, но имеющий некоторые сходства с Ямахами — конечно же, благодаря технологии синтеза.

Субтрактивный синтез

Субтрактивный синтез (Subtractive Synthesis) — это метод синтеза, основанный на вычитании элементов друг из друга. В синтезаторах определяющим элементом субтрактивного синтеза является наличие фильтров. Фильтр «вырезает» часть спектра из звука, формируя нужную тембральную окраску.

Субтрактивный синтез часто называют «аналогово-субтрактивным», отдавая дань прародителям всех синтезаторов — аналоговым инструментам.

Основные виды фильтров

- **HPF** — пропускающий фильтр высоких частот (он же — обрезной фильтр низких частот) — вырезает из спектра низкочастотную составляющую (ниже частоты среза, см. подробнее ниже), делая звук более «тонким», «высоким»...
- **LPF** — пропускающий фильтр низких частот (или обрезной фильтр высоких частот) — вырезает верхние частоты, субъективно смягчает звук, делает его «темнее» и глубже.
- **BPF** — полосовой пропускающий фильтр — пропускает частоты определенного диапазона, вырезая весь остальной спектр.
- **Notch-filter** — полосовой вырезающий фильтр (режекторный, заграждающий фильтр) — вырезает определенную полосу из спектра, оставляя нетронутыми ниже- и верхнечастотную составляющие.
- **Comb-filter** — гребенчатый фильтр (решётчатый фильтр) — тип фильтра, вырезающий ряд частот спектра и пропускающий частоты, находящиеся между ними. При прохождении сигнала через гребенчатый фильтр к нему добавляется он сам с какой-то задержкой, в результате чего получается фазовая компенсация. Его спектр имеет вид гребня, отсюда он и получил своё название.

Параметры фильтров

Основные характеристики фильтра — **частота среза (cutoff frequency)** и **резонанс(resonance)**. Если фильтр обладает «резонансом» — он называется резонантным (иногда резонансным), если нет — нерезонантным. Частотой среза называется частота, выше или ниже которой начинается действие фильтра. Функция резонанса заключается в увеличении уровня сигнала на частоте среза. При использовании резонанса звук становится более резким, жестким и агрессивным.

Фильтры также можно различать по **добротности**, которая применительно к синтезаторам обычно выражается значениями количества децибел на октаву. Чаще всего синтезаторы оснащаются **12-децибельными (2-pole)** или **24дб (4-pole)**, реже можно встретить **36дб (6-pole)** или **48дб (8-pole)**. Например, 12-децибельный обрезной фильтр высоких частот обрезает все частоты выше указанной частоты среза таким образом, что частота выше на октаву будет звучать на 12дб тише заданной.

Дополнительная информация

Для более полного понимания процесса необходимо усвоить также следующее:

- Повышение высоты тона на октаву обозначает увеличение частоты этого сигнала в два раза. Например, нота ля первой октавы звучит на частоте 440 герц, соответственно — ля второй октавы соответствует частоте 880 герц.
- Изменение мощности звука на 3дб означает приращение мощности в два раза. Соответственно, если децибелы суммируются — мощность умножается. Например, если один сигнал звучит на уровне на 12дб ниже второго, то мощность его звука меньше в 16 раз.

$$12\text{дб} = 3\text{дб} + 3\text{дб} + 3\text{дб} + 3\text{дб} = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$$

- Что же касается субъективного восприятия звука — оно скорее связано с напряжением, потому используется другое отношение. Увеличение напряжения (субъективного восприятия уровня звука) в два раза соответствует изменению в децибелах на 6. То есть, 12-децибельный фильтр обеспечивает понижение субъективного восприятия уровня сигнала в 4 раза через октаву от частоты среза фильтра.

$$12\text{дб} = 6\text{дб} + 6\text{дб} = 2 \times 2 = 4$$