

ЦИФРОВОЙ ЗВУК ИСТОРИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ



ШКОЛА СИНТЕЗА
ЦИФРОВЫХ СХЕМ

Занятие №9

9 декабря 2024

ПРИ ПАРТНЕРСТВЕ





Евгений Примаков

Инженер,
Преподаватель
МИЭТ

ЦИФРОВОЙ ЗВУК. ИСТОРИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ЗВУК НА ЗАРЕ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

- Терминалы для работы с ЭВМ имели возможность звукового оповещения оператора о произошедших событиях
- Пример события: окончание процесса вычислений
- В ASCII символ 0x7 назван "BELL" или "BEL", и его появление вызывает звуковое оповещение в современных эмуляторах терминалов



ЦИФРОВОЙ ЗВУК. ИСТОРИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

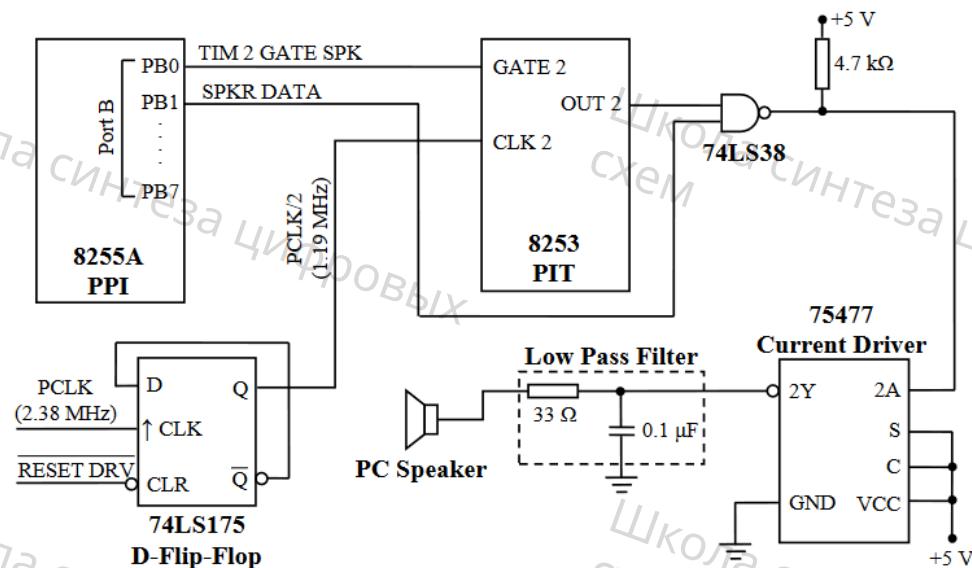
ПОЯВЛЕНИЕ ЦИФРОВОГО ЗВУКА В ДОМАШНИХ КОМПЬЮТЕРАХ

- Apple II (1977) – одноразрядный динамик «пищалка» подключался к порту ввода-вывода процессора
- Генерацией звука должен был заниматься процессор
- Недостаток – существенная нагрузка на процессор, на практике делавшая проблемным одновременный вывод звука и другие вычисления



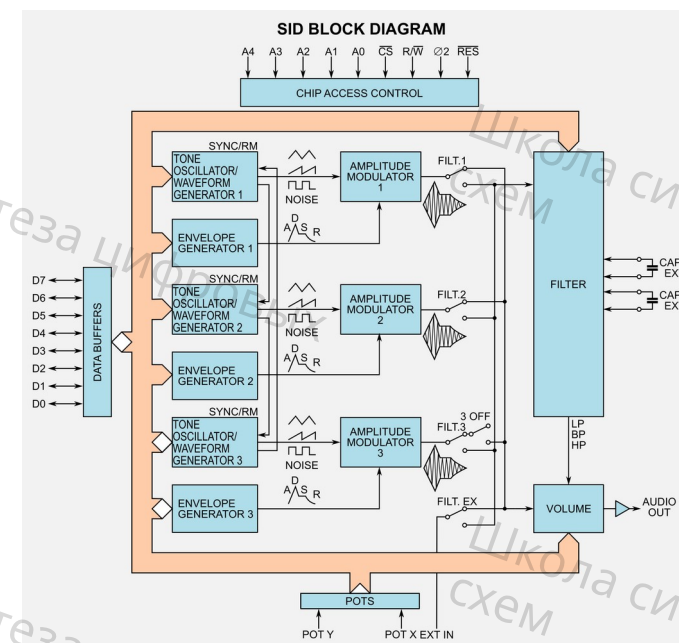
IBM PC Speaker

- IBM PC 5150 (1981) – содержал так называемый «Speaker»
- Схема генерации звука была построена на основе программируемого таймера 8253
- Таймер использовался для генерации тона, освобождая ресурсы процессора



FM-СИНТЕЗ ИЛИ «ВОСЬМИ-БИТНЫЙ» ЗВУК

- FM-синтез: Frequency Modulation
- Выпущенные в 1980х некоторые домашние компьютеры и игровые приставки содержали продвинутые аппаратные возможности для генерации звука
- Пример: SID из Commodore 64
 - 3 независимых звуковых канала
 - Каждый из каналов можно сконфигурировать для вывода меандра, пилообразного сигнала, треугольного сигнала, синусоиды и шума
 - Каналы могут модулировать друг друга по частоте и амплитуде



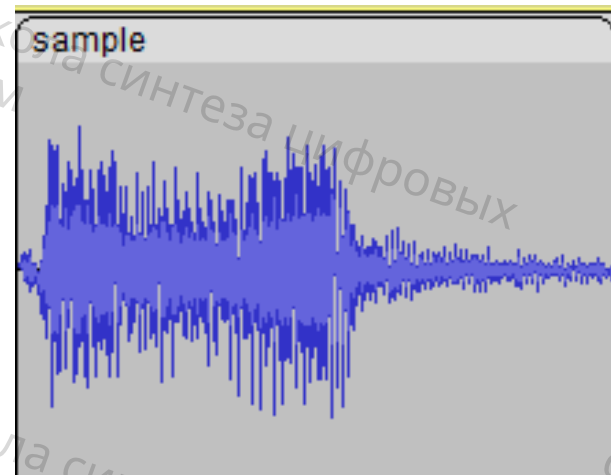
<https://habr.com/ru/post/438448/>

ДВА ПОДХОДА К ВЫВОДУ ЗВУКА

- Хранение звука в цифровом виде требует значительного объёма памяти (мегабайты), которого у ранних домашних компьютеров не было
- Например, у Commodore 64 было всего 64 килобайта памяти, часть из которой использовалась как графическая
- Этим была обусловлена популярность микросхем синтеза звука, которые генерировали сигнал, используя только параметры, такие как частота, громкость, настройки модуляции

ЭПОХА ЦИФРОВОГО ЗВУКА. WAVETABLE И СЭМПЛЫ

- С ростом доступности DRAM и её объёма, стали появляться устройства, способные воспроизводить короткие фрагменты заранее записанного цифрового звука – сэмплы
- В части устройств была добавлена поддержка вывода цифрового звука к стандартному на тот момент FM-синтезу (пример: Sound Blaster, Sega Mega Drive)
- Это позволило воспроизводить фрагменты речи или, например, ударные инструменты
- В другой же части устройств разработчики полностью отказались от FM-синтеза в пользу воспроизведения семплов



ЦИФРОВОЙ ЗВУК. ИСТОРИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

ЦИФРОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ. COMMODORE AMIGA И GRAVIS ULTRASOUND

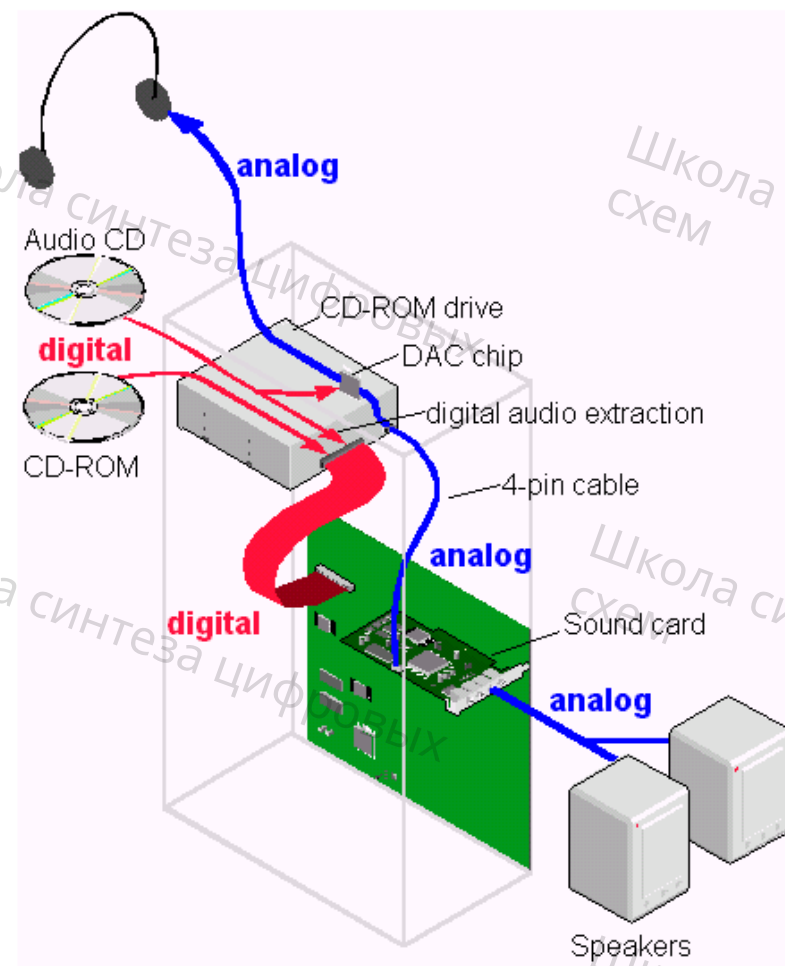
- В компьютере Commodore Amiga (1985) впервые появился полностью цифровой (только сэмплы) звуковой чип, способный воспроизводить одновременно 4 канала
- На Amiga впервые появился формат «трекерной музыки»
- Построенная по схожему принципу звуковая карта для PC Gravis Ultrasound (1992) поддерживала до 32 каналов звука одновременно

<https://www.youtube.com/watch?v=F3MzYd2cLNE>



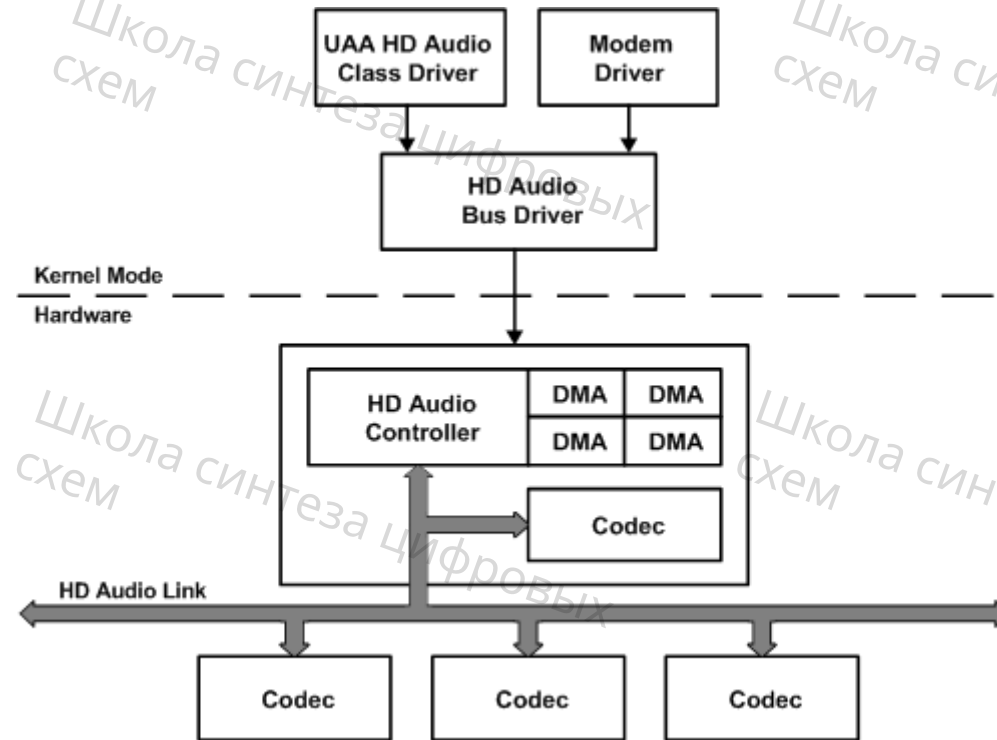
CD-AUDIO

- Появившийся в 1982 году формат CD-audio предложил альтернативное решение проблемы нехватки памяти для хранения длинных записей
- Стандартного CD-диска хватало для хранения до 80 минут музыки
- Установленный в компьютере CD дисковод мог воспроизводить музыку с диска самостоятельно, направляя звук на выход звуковой карты через специальный кабель
- Пример: игра Quake продавалась на диске, содержащем как данные игры, так и саундтрек в виде CD-audio



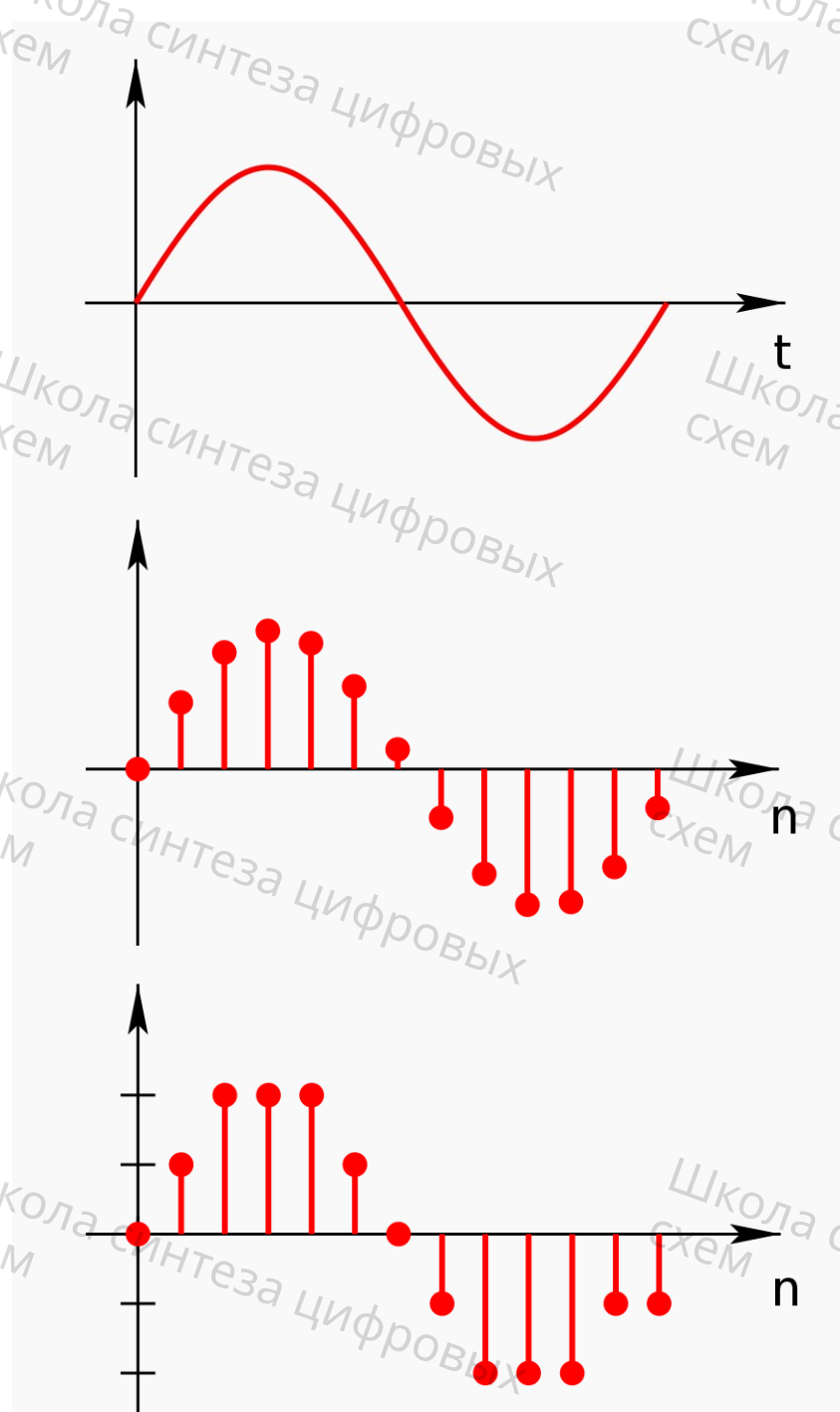
СОВРЕМЕННОСТЬ – INTEL HD AUDIO

- Рост вычислительных мощностей и объёмов памяти привёл к упрощению принципов работы звуковой системы современных вычислительных устройств
- Наиболее популярный стандарт вывода звука – Intel HD Audio
- Звуковой контроллер вычитывает информацию из памяти с помощью механизма DMA и отправляет её на кодеки, выполняющие функции ЦАП



ЦИФРОВЫЕ И АНАЛОГОВЫЕ СИГНАЛЫ

- Аналоговый сигнал непрерывен по значению и во времени
- Цифровой сигнал дискретен (существует только в точках сэмплирования)
- Цифровой сигнал квантован – может иметь только определенный сеткой квантования уровень



ТЕОРЕМА КОТЕЛЬНИКОВА

Теорема Котельникова (в англоязычной литературе — теорема Найквиста —Шеннона) гласит, что для того, чтобы оцифровать сигнал с максимальной частотой в спектре , необходимо использовать частоту дискретизации как минимум в 2 раза большую, чем частоту

ЧАСТОТА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ЗВУКА

- Слух человека способен воспринимать диапазон частот от 20 Гц до 20 кГц
- Согласно теореме Котельникова (Найквиста – Шеннона) для оцифровки воспринимаемого человека звуком необходима частота выше, чем 40 кГц
- Стандартной частотой для оцифровки звука считается частота 44.1 кГц, используемая в Audio CD

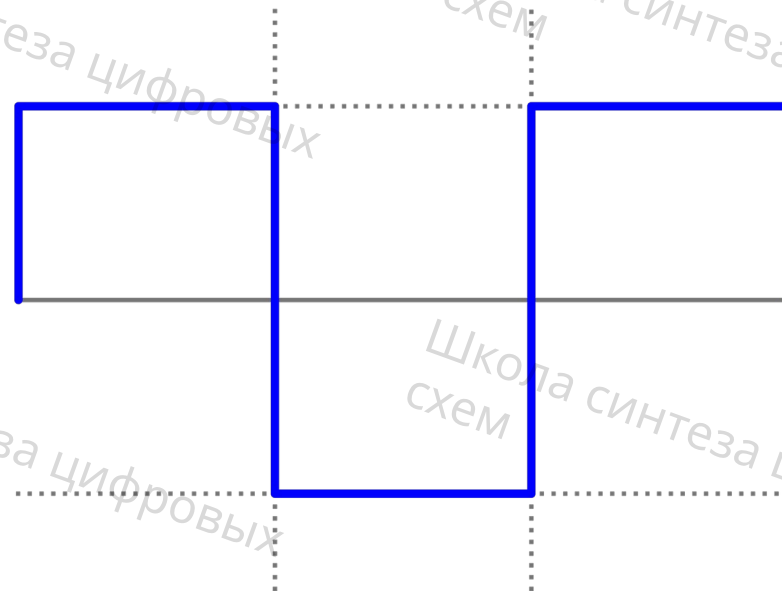
БАЗОВЫЕ ФОРМЫ СИГНАЛА

Простейшие формы сигнала, использовавшиеся для FM-синтеза:

- Прямоугольная
- Пилообразная
- Обратная пилообразная
- Треугольная
- Синусоидальная
- Шум

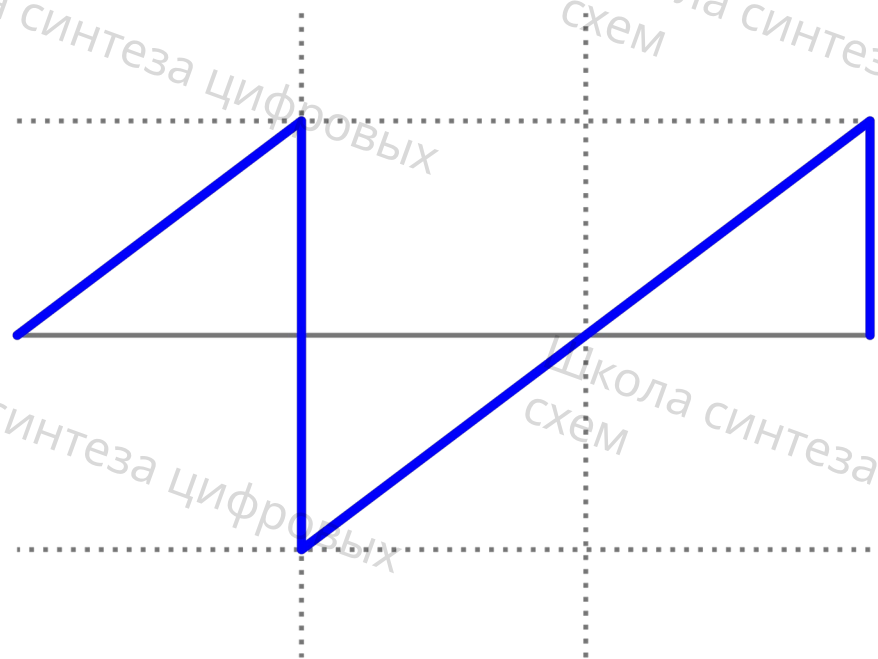
ПРЯМОУГОЛЬНАЯ ФОРМА СИГНАЛА

- Схемы генерации звука в Apple II и IBM PC поддерживали вывод только двух уровней сигнала: «высокий» и «низкий»
- Такая форма сигнала называется прямоугольной (square wave) или меандром
- Меандр – самый простой вид звукового сигнала



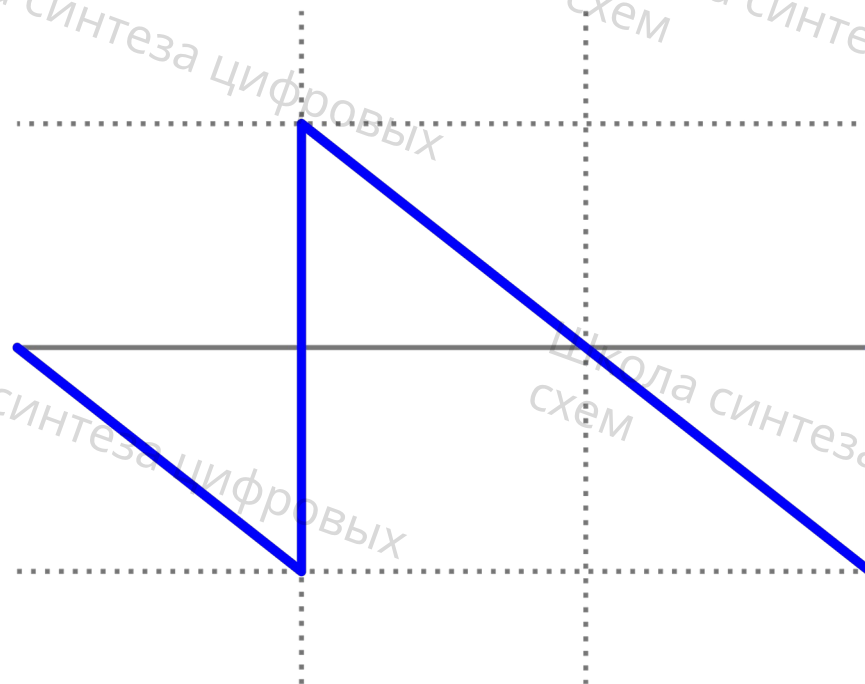
ПИЛООБРАЗНАЯ ФОРМА СИГНАЛА

- Пилообразную форму сигнала можно реализовать, подав на ЦАП значение с увеличивающегося цифрового счётчика
- «Обвал» пилы – переполнение счетчика



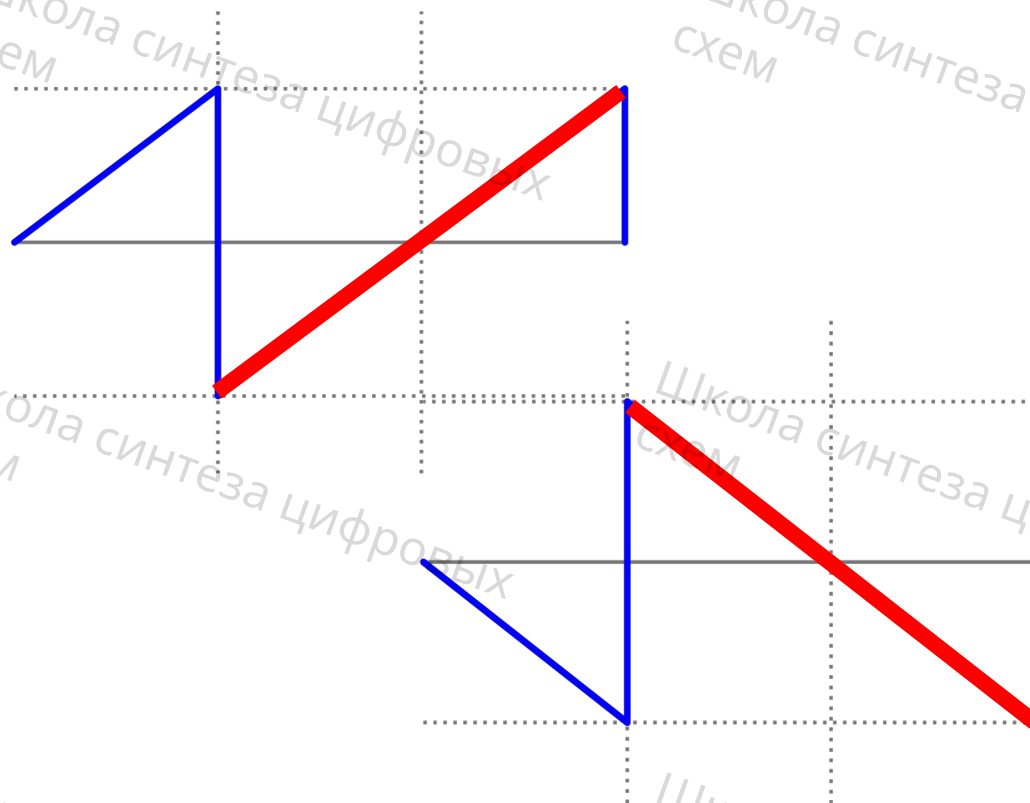
ОБРАТНАЯ ПИЛООБРАЗНАЯ ФОРМА СИГНАЛА

- Обратную пилообразную форму сигнала можно реализовать, подав на ЦАП значение с уменьшающегося цифрового счётчика
- «Обвал» пилы – переполнение счетчика



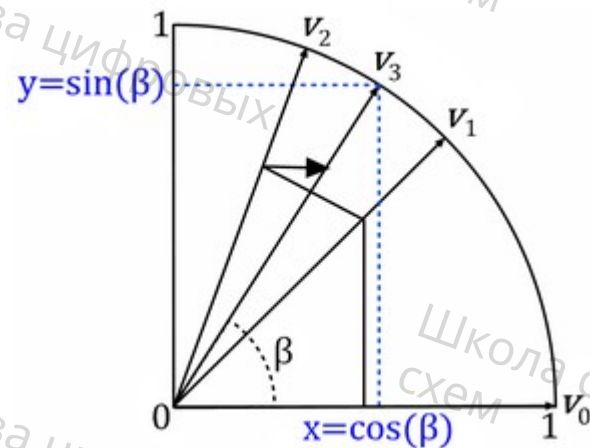
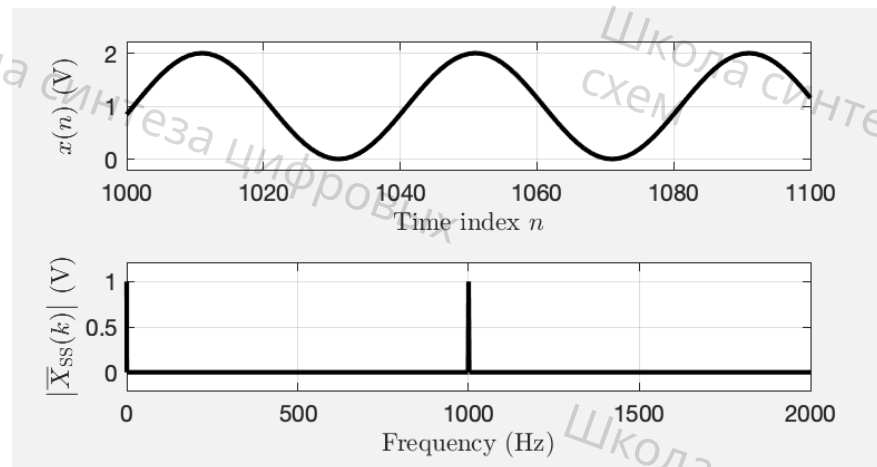
ТРЕУГОЛЬНАЯ ФОРМА СИГНАЛА

- Треугольную форму волны можно получить с помощью двух рассмотренных ранее пилообразных сигналов, переключаясь между ними
- Таким образом, для восходящей части треугольной формы сигнала – используется пила, для нисходящей части – обратная пила



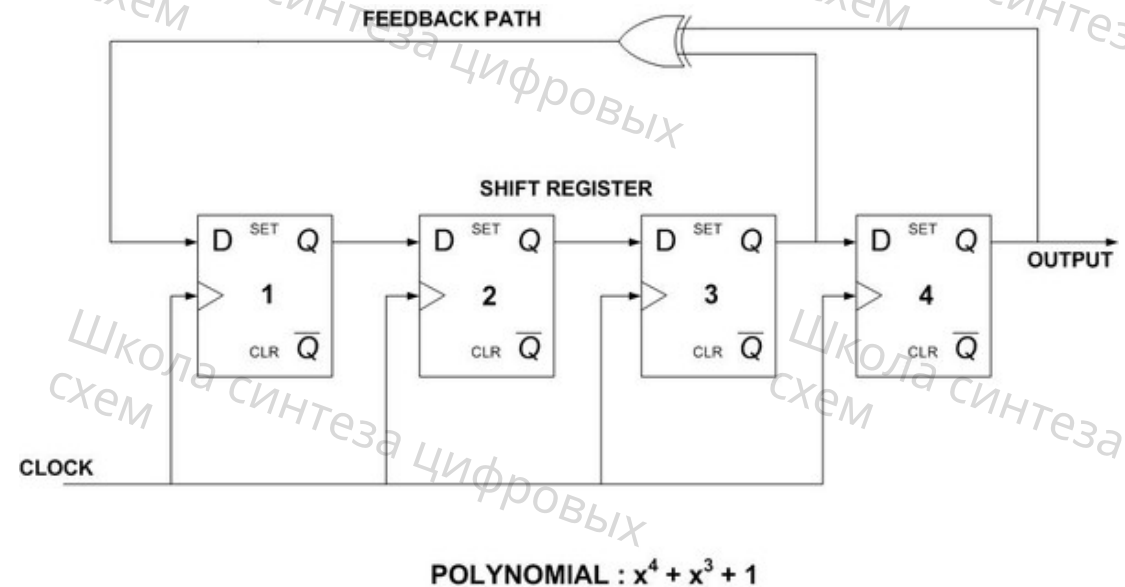
СИНУСОИДАЛЬНАЯ ФОРМА СИГНАЛА

- Синус также называют «чистым тоном» – в отличие от других форм сигнала, синус на спектре формирует только одну гармонику
- Аппаратная реализация генерации синуса возможна с помощью алгоритма CORDIC
- Также зачастую эффективна реализация генерации синуса с использованием таблиц значений



ШУМОВАЯ ФОРМА СИГНАЛА

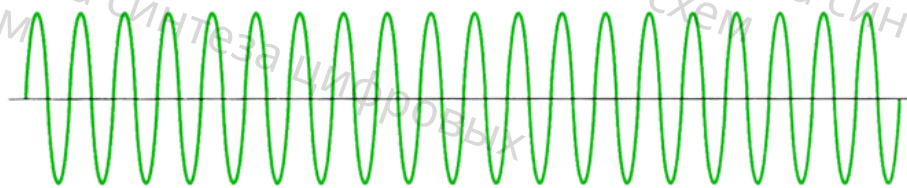
- Шум может использоваться для формирования звуковых эффектов, а также для имитации ударных инструментов
- С точки зрения теории, шум представляет из себя последовательность случайных чисел
- В цифровых устройствах генерация псевдо-случайных последовательностей реализуется с помощью сдвигового регистра с линейной обратной связью



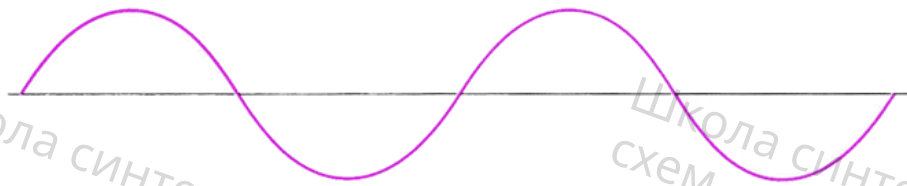
АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

- Амплитудная модуляция – наложение на несущую ограничения по амплитуде
- Амплитудная модуляция позволяет реализовать целый ряд звуковых эффектов

Несущая частота



Сигнал



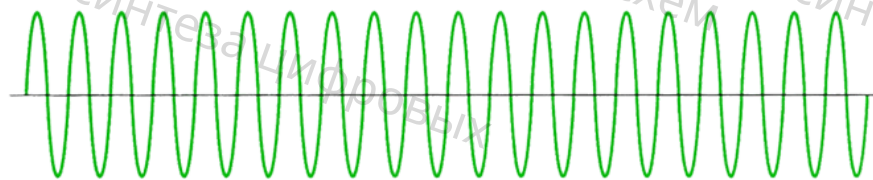
Амплитудная модуляция



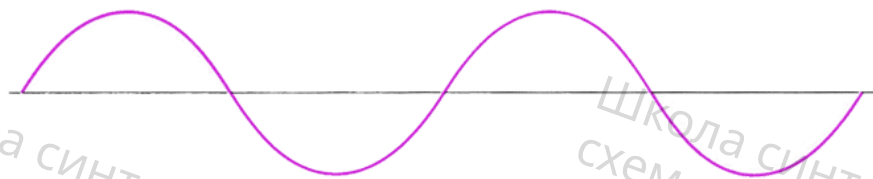
ЧАСТОТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

- Частотная модуляция – динамическое изменение частоты сигнала
- Амплитудная модуляция позволяет реализовать целый ряд звуковых эффектов и имитировать музыкальные инструменты

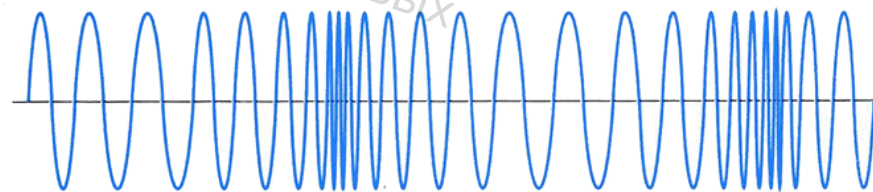
Несущая частота



Сигнал

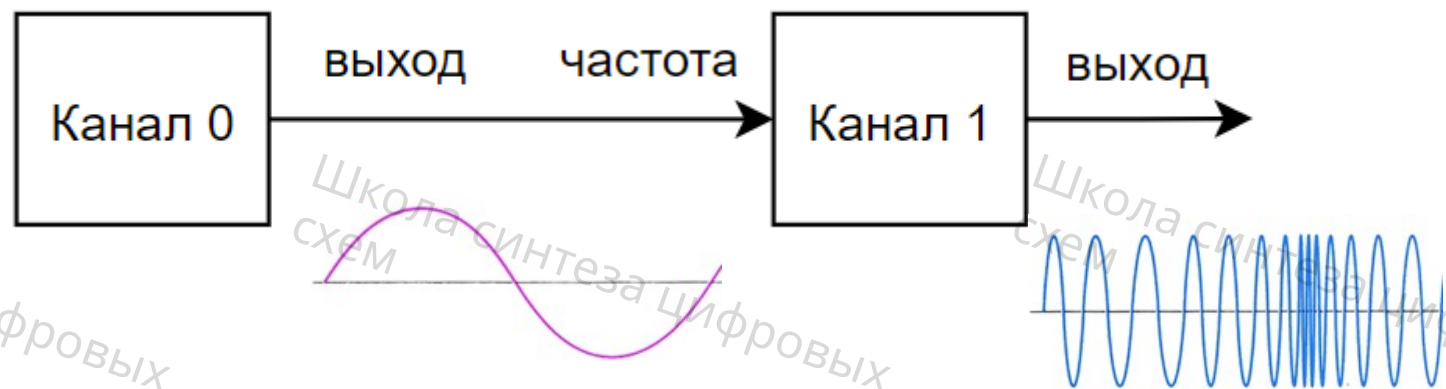


Частотная модуляция



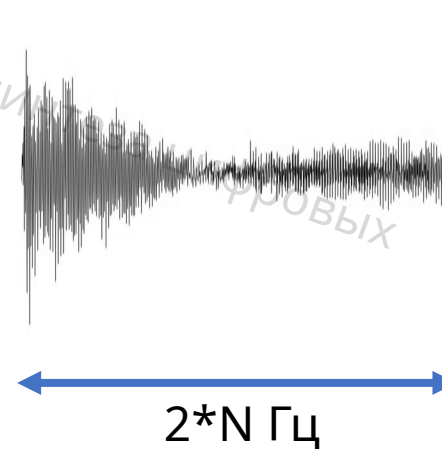
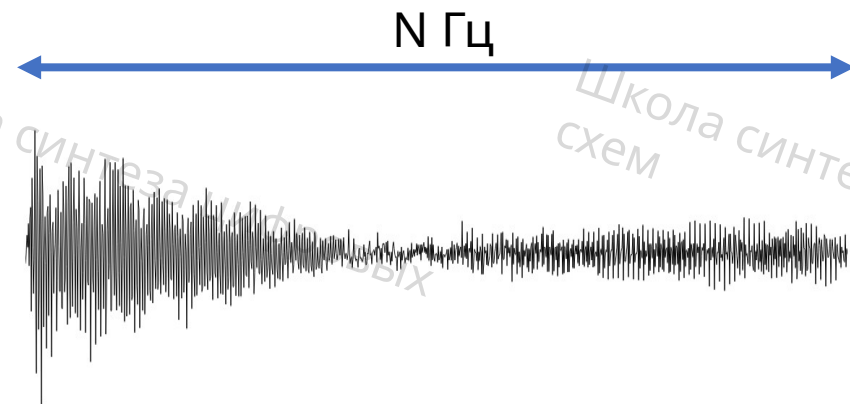
МОДУЛЯЦИЯ В ГЕНЕРАТОРАХ ЗВУКА

- Основная идея FM-синтеза: модуляцию звукового канала может выполнять другой канал, либо специальная логика модуляции
- Пример: выход канала 0 подключен как вход частоты канала 1



ПРОИГРЫВАНИЕ СЭМПЛОВ

- Сэмпл – короткий фрагмент оцифрованного звука
- Проигрывая сэмпл с разной скоростью, можно добиться разной частоты звучания



ЦИФРОВОЙ ЗВУК. ИСТОРИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Склонируйте репозиторий по адресу

https://github.com/chipdesignschool/audio_synth_practice.git

В материалах задания приложены примеры:

- Различные генераторы звука
- Примеры воспроизведения звуков и музыки на генераторах звука
- Примеры модуляции
- Примеры проигрывания сэмплов

В практической части вам предлагается:

- Изучить примеры
- Воспроизвести результаты на вашей плате

Автор (разработчик материала) лекции – Примаков Евгений Владимирович

Использование материалов и записи лекции и/или их частей без предварительного согласия не допускается.

По вопросам использования материалов и записи лекции в коммерческих целях необходимо направить обращение в ООО «КНС ГРУПП» (YADRO) по адресу электронной почты synthesis@yadro.com.

По вопросам некоммерческого использования материалов и записи лекции обращение может быть направлено в ООО «КНС ГРУПП» (YADRO) по адресу электронной почты synthesis@yadro.com, либо на адрес электронной почты автора Примакова Е.В. conf@confusion.su. Такое обращение обязательно должно содержать описание цели использования.