

1 Лабораторная работа №3 – Реализация звуковых эффектов на основе применения задержки

Цель: Реализация эффектов «эхо», «пинг-понг» и реверберация в системе Matlab.

1.1 Теоретические сведения

1.1.1 Звуковой эффект «эхо»

Естественное эхо – это эффект периодического повторения звуков с плавным их затуханием, которое наблюдается после прекращения звука. Особенно ярко оно проявляется, когда звук короткий. Эхо возникает в тоннелях, на стадионах, в горных ущельях пещерах и других местах из-за отражения звуковых волн от любых препятствий, мешающих их распространению, но только в случае запаздывания отражений на время больше 50 мс. Это время равно постоянной времени слуха человека. Пока запаздывания отраженных сигналов меньше этого времени все они воспринимаются как единый звук, эхо не возникает.

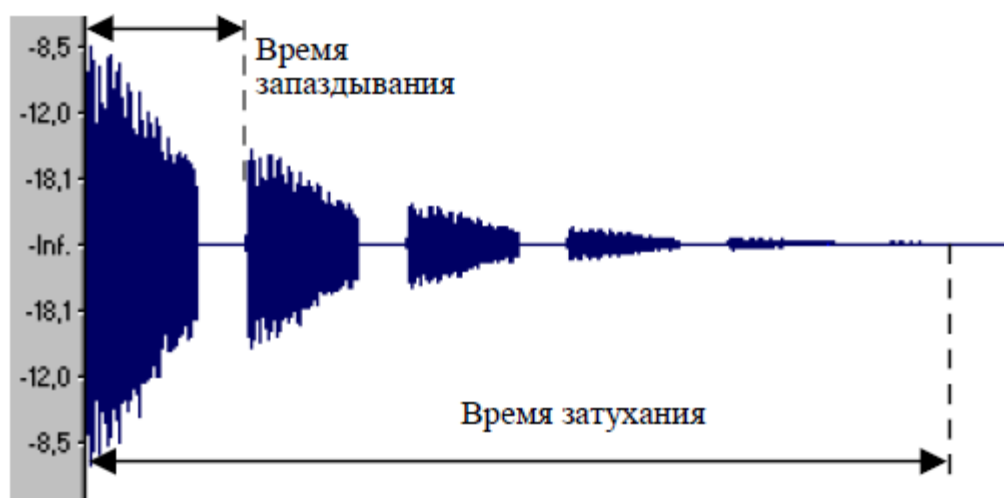


Рисунок 1.1 – Эффект эхо

Если скорость затухания отраженных звуков велика, то возникает однократное эхо, если же она мала, то возникает многократное эхо (рис. 1.1). Эффекты цифровой задержки относятся к числу эффектов, которые входят в ряд стандартных, поскольку они могут создавать множество различных типов эхо и подходят практически ко всем музыкальным стилям.

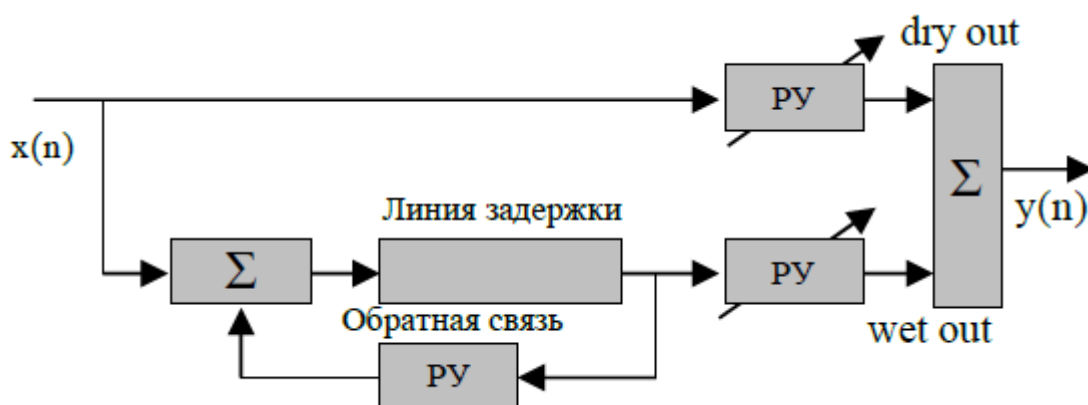


Рисунок 1.2 – Схема формирования звукового эффекта «эхо»

Схема на рис. 1.2 поясняет принцип формирования звукового эффекта. В этой схеме на вход подается звуковой сигнал и далее он разделяется на два канала. В каждом из них можно регулировать уровень с помощью регулятора уровня (ГУ). Канал, в котором производится задержка сигнала, имеет странное название *wet out*, а канал, в который сигнал проходит без изменений в плагинах называется *dry out*. В данной схеме сумматор передает на выход как прямой сигнал, так и запаздывающий.

В этой схеме для создания однократного эхо обратная связь выключается, и запаздывающий сигнал возникает через время задержки, определяемое цифровой линией задержки. Обратная связь создает бесконечное число повторов звука, следующих с интервалом, равным времени задержки. Регулятор в цепи обратной связи определяет время затухания этих повторов. Если, например, коэффициент передачи ГУ равен минус 6 дБ, то каждый следующий повтор звука будет на 6 дБ ниже предыдущего, и 10-й повтор будет иметь уровень минус 60 дБ. Такой искусственный сигнал на слух воспринимается как многократное эхо.

Эффект задержки можно описать следующим уравнением:

$$y(n) = x(n - D) + fb \times y(n - D),$$

где D – время задержки, заданное число отсчетов на частоте дискретизации.

Структура цифровой системы, реализующей приведенное уравнение показана на рисунке 1.3.

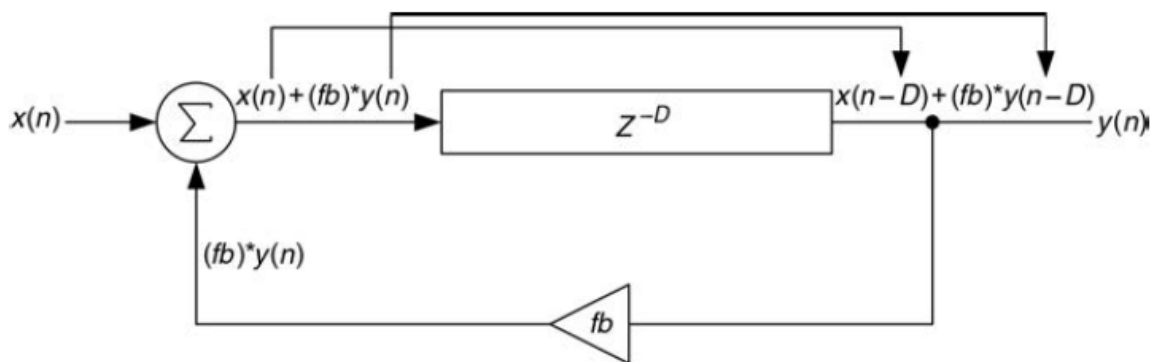


Рисунок 1.3 – Базовая структура обработки сигнала для формирования звукового эффекта задержки

Эффект «эхо» формируется при времени задержки от 150 мс до 1 с или больше, хотя чаще всего применяют значения из диапазона 300...600 мс. Число повторов должно быть достаточно велико, поэтому время затухания может быть до 5...10 с.

Если в результате применения эффекта эхо необходимо, чтобы в выходном сигнале звучал исходный сигнал необходимо реализовывать схему, показанную на рисунке 1.2, которую также можно описать при помощи следующего уравнения:

$$y(n) = \text{dry} \times x(n) + \text{wet} \times (x(n - D) + fb \times y(n - D)), \quad (1.1)$$

где dry и wet – коэффициенты отвечающие за микширование исходного сигнала и эхо-сигнала. Как правило, стремятся к тому, чтобы коэффициенты dry и wet в сумме давали единицу.

Структура блока обработки сигнала согласно уравнению (1.1) приведена на рисунке 1.4.

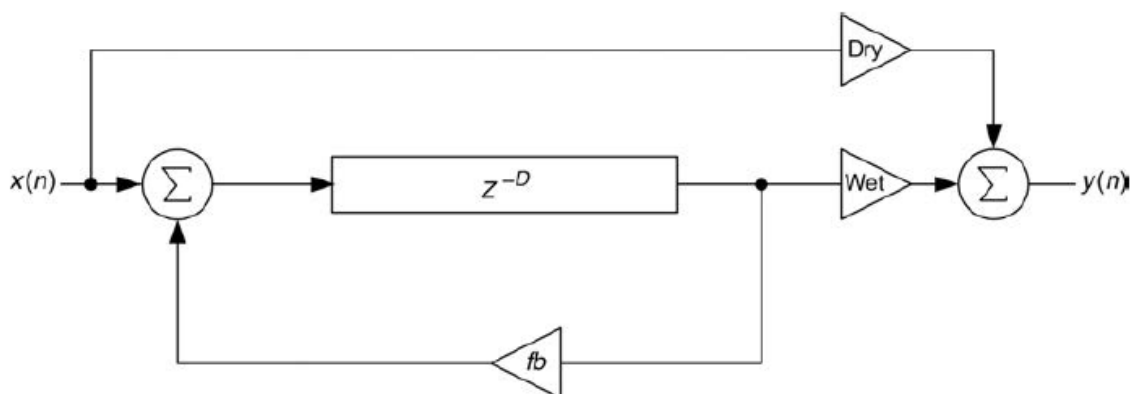


Рисунок 1.4 – Базовая структура обработки сигнала для формирования звукового эффекта «эхо»

Одним из вариантов эффекта эхо является широко известный в музыке эффект «слепбек» (slapback). Он создается при времени задержки 100...132 мс. Этот эффект создает впечатление, что звук отражается от расположенной по близости поверхности.

1.2 Реализация эффекта «пинг-понг»

Эффект «эхо» может быть, как монофоническими, так и стереофоническими. В последнем случае на каждом канале нужно устанавливать собственное значение времени задержки, что дает еще один метод получения интересных ритмических эффектов.

Как показано на рис. 1.5 элементы задержки для отдельных каналов могут иметь перекрестные связи для реализации «пинг-понг» стереоэффекта.

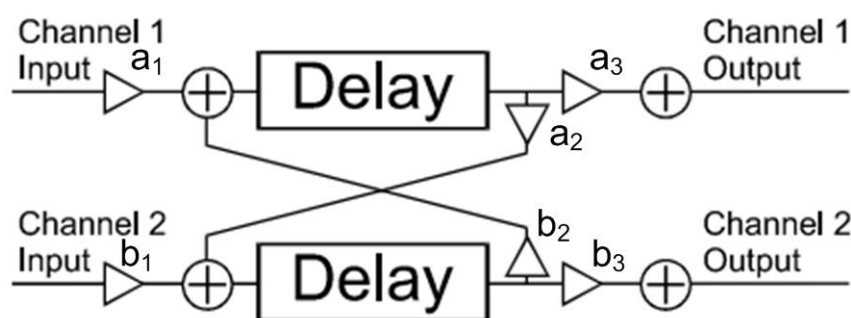


Рисунок 1.5 – Схема формирования звукового эффекта «ping-pong»

Заметим, что технически схема не реализует напрямую эффект задержки, поскольку петли обратных связей имеют перекрестный вид. Однако это и не в чистом виде реверберация, так как ни одна из блоков задержки не имеет прямой обратной связи.

1.3 Эффект задержки с ФНЧ в контуре обратной связи

Аналоговые схемы эффекта задержки обладают свойством потери энергии высокочастотных компонент сигнала в контуре обратной связи. Данный эффект может быть смоделирован в цифровой схеме путем добавления фильтра нижних частот в петлю обратной связи (рис. 1.6).

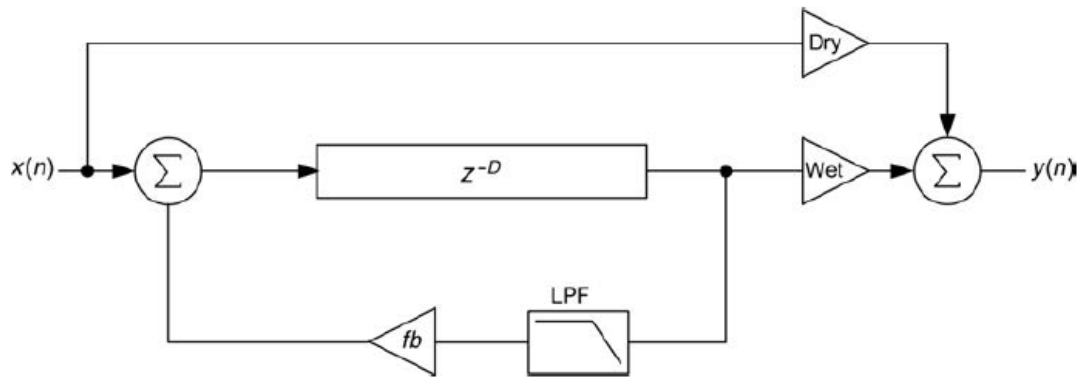


Рисунок 1.6 – Схема формирования звукового эффекта «эха» с ФНЧ в петле обратной связи (LPF – low-pass filter)

1.4 Фазовая модуляция

Эффект фазовой модуляции (англ. PM – phase modulation) сигнала $x(n)$ можно описать следующим выражением:

$$x_{PM}(n) = x(n - D(n)), \quad (1.2)$$

где $D(n)$ – функция принимающая вещественные значения. Соответственно, $D(n)$ можно представить в виде суммы целой $\text{Int}(D(n))$ и дробной $\text{Frac}(D(n))$ части. Целую часть можно реализовать в виде соответствующего числа задержек, а дробную часть получить путем интерполяции (рис. 1.7).

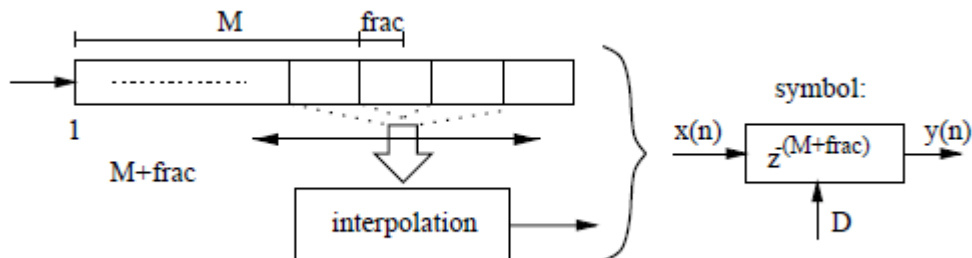


Рисунок 1.7 – Схема эффекта фазовой модуляции на основе задержки

Для синусоидального типа модуляции, полезного для получения эффекта вибрато, модулирующий сигнал можно записать, как

$$D(n) = M + m \cdot \sin(\omega_M nT), \quad (1.3)$$

где m – глубина модуляции, ω_M – круговая частота модуляции, T – интервал дискретизации.

2 Задание

Лабораторная работа включает выполнение практических заданий в среде Matlab в соответствии с вариантом (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Варианты заданий

Вариант	Задание
1	Реализовать звуковой эффект «эхо».
2	Реализовать звуковой эффект «слепбэк».
3	Реализовать звуковой эффект «эхо» с ФНЧ в контуре обратной связи (частота среза 1 кГц)
4	Реализовать звуковой эффект «ping-pong» $a_1 = 1, b_1 = 1; a_2 = 0.3; b_2 = 0.3; a_3 = 0.7; b_3 = 0.7$.
5	Реализовать звуковой эффект фазовой модуляции: $f_s = 44.1$ кГц, $M = 220, m = 40, \omega_M = 2\pi \cdot 4$ рад/с
6	Реализовать звуковой эффект «эхо» с ФНЧ в контуре обратной связи (частота среза 2.5 кГц)

2.1 Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по теме лабораторной работы.
2. Получить у преподавателя задание для выполнения практической части работы.
3. Реализовать в Matlab задание.
4. Показать результат работы устройства преподавателю.
5. Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

2.2 Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Matlab-описание заданий.
4. Графики из задания содержащие временное и частотное представление полученных сигналов.
5. Выводы по работе.