

1 Лабораторная работа №4 – Реализация цифровых фильтров частотной коррекции

Цель: Реализация в системе Matlab цифровых фильтров частотной коррекции вида low-cut и high-cut, low-shelf и high-shelf, эквалайзеров типа bell, фильтра «присутствия».

1.1 Теоретические сведения

1.1.1 Все пропускающие фильтры 1-го порядка

Все пропускающие фильтры (ФВП) являются базовой основой для построения параметрических фильтров. Такие фильтры наиболее широко используются в аудиотехнике, так как они позволяют осуществлять независимую перестройку частоты среза, добротности или полосы пропускания. ФВП 1-го порядка может быть реализован на основе одного элемента задержки, но более широко применяется ФВП 1-го порядка на основе двух элементов задержки. Схема такого фильтра приведена на рис. 1.1, в ней используется как прямая, так и обратная связи. Работа фильтра описывается разностным уравнением вида

$$y(n) = c \cdot x(n) + x(n-1) - c \cdot y(n-1), \quad (1)$$

где

$$c = \frac{\tan(\pi\eta_c) - 1}{\tan(\pi\eta_c) + 1}, \quad \eta_c = \frac{f_c}{f_s} - \text{относительная частота среза.}$$

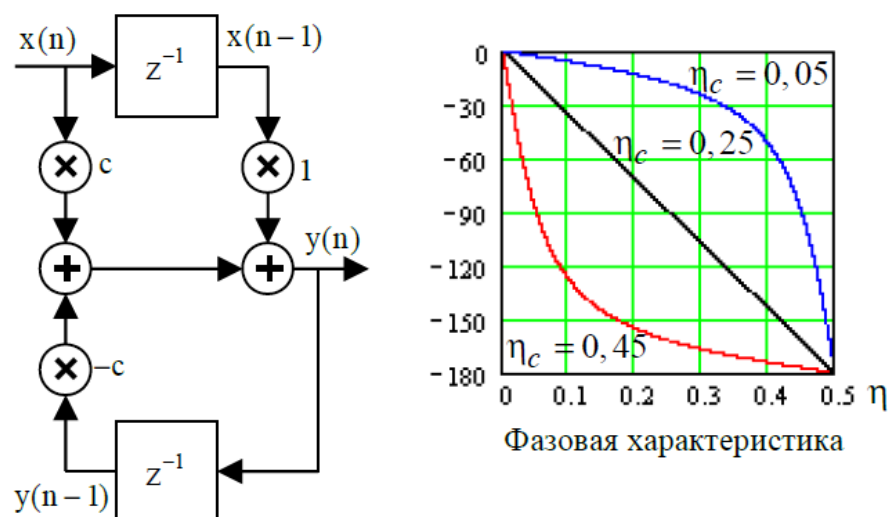


Рисунок 1.1 – Фильтр все пропускающий 1 порядка

Передаточная функция фильтра ФВП 1 порядка в форме Z- преобразования имеет вид

$$A_1(z) = \frac{z^{-1} + c}{1 + cz^{-1}}. \quad (2)$$

Частотная характеристика этого фильтра не зависит от частоты и модуль коэффициента передачи равен единице во всем диапазоне частот. Фазовая характеристика фильтра очень сильно меняется в зависимости от выбора частоты среза (рис. 1.1). При $\eta_c = 0,25$ коэффициент $c = 0$, а уравнение (1) вырождается в описание простой задержки $y(n) = x(n - 1)$. Поэтому на рис. 1.1 при $\eta_c = 0,25$ фазовый сдвиг с увеличением частоты линейно уменьшается от 0 до минус 180° на частоте Найквиста. При $\eta_c < 0,25$ ФЧХ в большей части частотного диапазона приближается к 0° , а когда $\eta_c > 0,25$ она приближается к минус 180° (рис. 1.1). Частота среза фильтра плавно изменяется с помощью коэффициента фильтра c .

1.1.2 Все пропускающие фильтры 2-го порядка

ФВП 2 порядка строится на основе 4 элементов задержки, и в нем используются две прямые и две обратные связи (рис. 1.2). Работа фильтра описывается разностным уравнением

$$y(n) = -cx(n) + d(1 - c)x(n - 1) + x(n - 2) - d(1 - c)y(n - 1) + cy(n - 2),$$

где

$$c = \frac{\tan(\pi\eta_b) - 1}{\tan(\pi\eta_b) + 1}, \quad \eta_b = \frac{f_b}{f_s} - \text{относительная полоса (добротность) фильтра.}$$

$$d = -\cos(2\pi \cdot \eta_c), \quad \eta_c = \frac{f_c}{f_s} - \text{относительная частота среза фильтра}$$

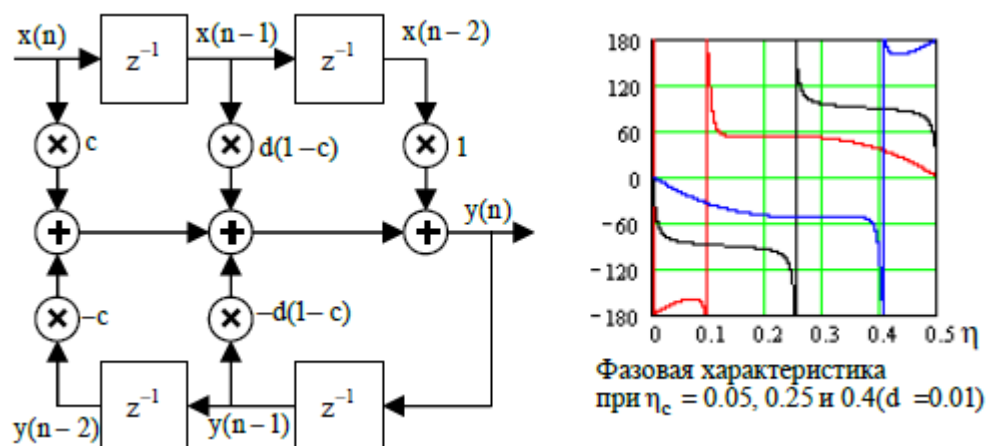


Рисунок 1.2 – Фильтр все пропускающий 2 порядка

Передаточная функция фильтра ФВП 2 порядка в форме Z- преобразования имеет вид

$$A_2(z) = \frac{-c + d(1 - c)z^{-1} + z^2}{1 + d(1 - c)z^{-1} + cz^2}. \quad (3)$$

Частотная характеристика этого фильтра не зависит от частоты и коэффициент передачи фильтра равен единице во всем диапазоне частот. В большей части этого диапазона фазовая характеристика меняется мало, но на частоте среза фазовый сдвиг сигналов скачком изменяется на 360° . Параметр d задает крутизну изменения фазы вблизи частоты среза, фактически этим параметром задается добротность фильтра.

1.1.3 Фильтры эквалайзеров Low-Shelf и High-Shelf

Фильтры эквалайзеров типа Low-Shelf и High-Shelf предназначены для создания фиксированного подъема (спада) АЧХ в заданном интервале частот на краях частотного диапазона. В отечественной технической литературе эти фильтры часто называют шельфовыми (от английского слова shelf – полка). Подъем АЧХ осуществляется в режиме усиления, а спад – в режиме ослабления.

Шельфовые ФНЧ в режиме усиления на частотах ниже частоты среза подъем АЧХ нарастает плавно, и затем коэффициент передачи фильтра остается постоянным до нулевых частот (полка). В режиме ослабления ниже частоты среза происходит плавный спад АЧХ, и затем коэффициент передачи фильтра остается постоянным до нулевой частоты (полка). Частоту среза можно менять плавно во всем звуковом диапазоне без изменения крутизны нарастания (спада) АЧХ (рис. 1.3).

Шельфовые ФВЧ в режиме усиления на частотах выше частоты среза подъем АЧХ нарастает плавно, и затем коэффициент передачи фильтра остается постоянным до частоты Найквиста (полка). В режиме ослабления выше частоты среза происходит плавный спад АЧХ, и затем коэффициент передачи фильтра остается постоянным до частоты Найквиста (полка). Частоту среза можно менять плавно во всем звуковом диапазоне без изменения крутизны нарастания (спада) АЧХ (рис. 1.3).

Передаточные функции аналогового прототипа шельфового ФНЧ 1 порядка, полученные с помощью преобразования Лапласа,

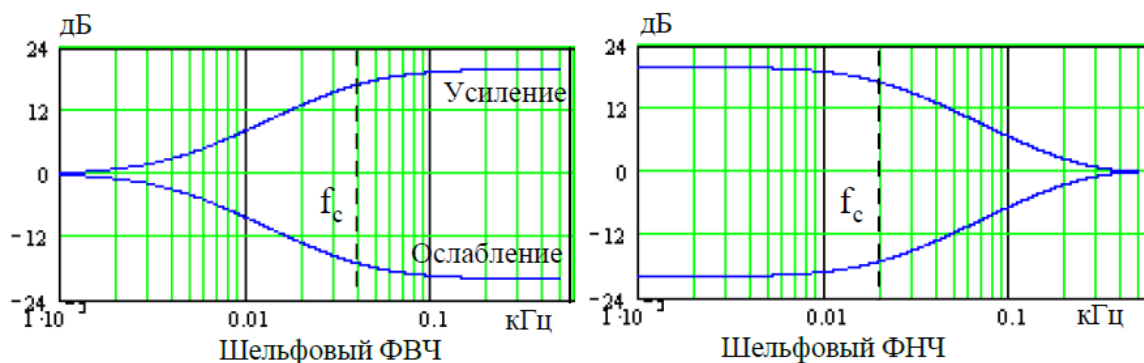


Рисунок 1.3 – АЧХ шельфовых фильтров НЧ/ВЧ 1 порядка

$$H(s)_{\text{ФНЧ}} = \frac{s + V_0}{s + 1}, \quad V_0 > 1 \text{ (усиление)},$$

$$H(s)_{\text{ФНЧ}} = \frac{s + 1}{s + V_0}, \quad V_0 > 1 \text{ (ослабление)},$$

где V_0 – коэффициент передачи фильтра на нулевой частоте. В логарифмической шкале V_0 означает подъем и спад на одну и ту же величину, но разного знака (рис. 1.3).

Передаточные функции шельфового ФВЧ 1 порядка

$$H(s)_{\text{ФВЧ}} = \frac{sV_0 + 1}{s + 1}, \quad V_0 > 1 \text{ (усиление)},$$

$$H(s)_{\text{ФВЧ}} = \frac{s + 1}{sV_0 + 1}, \quad V_0 > 1 \text{ (ослабление)},$$

где V_0 – коэффициент передачи фильтра на частоте, равной бесконечности. Как видно из этих формул переход из режима усиления в режим ослабления означает инвертирование передаточной функции. АЧХ этих фильтров (рис. 1.3) отличаются очень плавным нарастанием (спадом) с крутизной не более 6 дБ/октава.

При цифровой реализации этих фильтров с помощью билинейного преобразования эти формулы трансформируются и принимают вид

$$H(z) = 1 + \frac{H_0}{2} (1 \pm A_1(z)), \quad (4)$$

где $H_0 = (1 - V_0)$, $A_1(z)$ – передаточная функция базового все пропускающего фильтра 1 порядка, определяемая равенством (2).

В логарифмической шкале усиление фильтра задается в виде $V_0 = 10^{G/20}$, где G задается в децибелах. В формуле (4) знаки - и + означают, что это, соответственно, шельфовые ФНЧ и ФВЧ. Этой формуле соответствует схема цифрового фильтра на рис. 1.4.

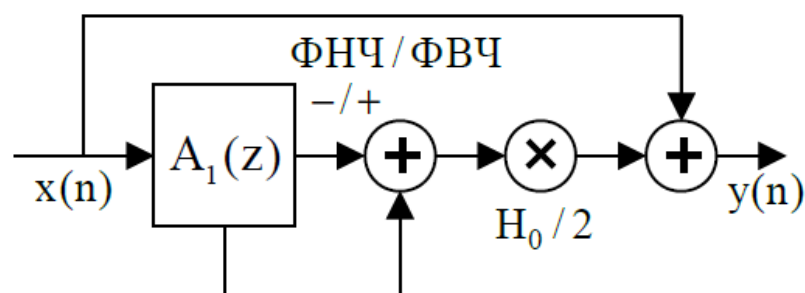


Рисунок 1.4 – АЧХ шельфовых фильтров НЧ/ВЧ 1 порядка

1.2 Фильтры эквалайзеров типа Bell

Фильтры эквалайзеров типа Bell используются для плавного подъема подъема или спада АЧХ электроакустических трактов с заданной полосой и коэффициентом усиления/ослабления в любом месте частотного диапазона. В отечественной технической литературе их часто называют пиковыми или фильтрами типа Bell, так как у них АЧХ имеет форму колокола. Такие фильтры могут быть пропускающими, заграждающими, широкополосными и узкополосными.

Параметры такого полосового фильтра определяются тремя характеристиками -срединной (центральной) частотой, называемой частотой среза f_c , шириной полосы пропускания Δf и коэффициентом усиления (ослабления). Этот коэффициент часто задается в децибелах, плюс или минус относительного единичного коэффициента передачи (0 дБ). Иногда вместо полосы пропускания используется добротность фильтра, определяемая отношением центральной частоты полосового фильтра к ширине полосы пропускания на уровне минус 3 дБ. Чем больше значение добротности, тем уже полоса пропускания. Все эти характеристики у параметрических фильтров могут меняться плавно и независимо.

На рис.1.5 приведена типовая АЧХ пропускающего пикового фильтра в режиме усиления. Она симметрична относительно центральной частоты, при усилении и ослаблении происходит ее инвертирование. Частота среза фильтра всегда совпадает с центральной частотой фильтра. При ее перестройке от низких до высоких частот звукового диапазона форма АЧХ не меняется. Эти фильтры могут быть очень узкополосными и выделять или подавлять только одну частоту, например, 50 или 51 Гц.

В этом случае добротность фильтров может достигать 650.

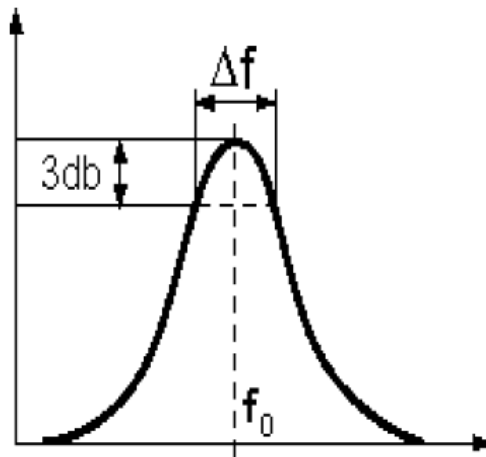


Рисунок 1.5 – АЧХ пикового фильтра

Для аналогового прототипа пикового пропускающего фильтра второго порядка, передаточная функция в форме преобразования Лапласа определяется равенством

$$H(s) = \frac{s^2 + \frac{sV_0}{Q} + V_0}{s^2 + \frac{s}{Q} + 1}, \quad V > 1 \text{ (усиление)},$$

где V_0 – параметр, определяющий максимальный подъем или спад АЧХ фильтра, при $V_0 = 1$ коэффициент передачи равен 0 дБ. В режиме ослабления передаточная функция инвертируется.

Основой цифрового параметрического пикового фильтра 2 порядка является все пропускающий фильтр 2 порядка, передаточная функция которого $A_2(z)$ определяется равенством (3). В схему фильтра входит фильтр ВП, два сумматора, один умножитель и 2 цепи прямой связи (рис. 1.6). Передаточная характеристика такого фильтра

$$H(z) = 1 + \frac{H_0}{2} (1 \pm A_2(z)),$$

где $H_0 = (1 - V_0)$.

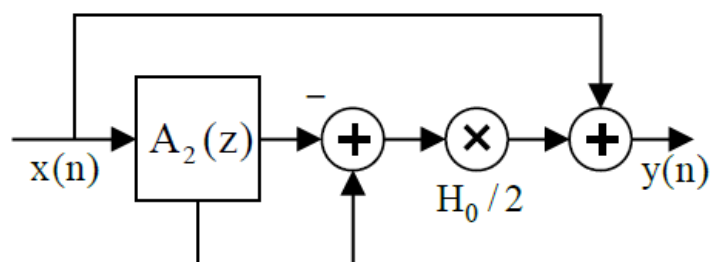


Рисунок 1.6 – Пиковый фильтр 2 порядка

Для иллюстрации на рис. 1.7 приведены рассчитанные графики АЧХ цифрового полосового фильтра с центральной частотой 200 Гц с максимальным подъемом и спадом на центральной частоте АЧХ на 6, 12 и 18 дБ. При добротности фильтра, равной 0,5 полоса пропускания (задержания) равна 400 Гц.

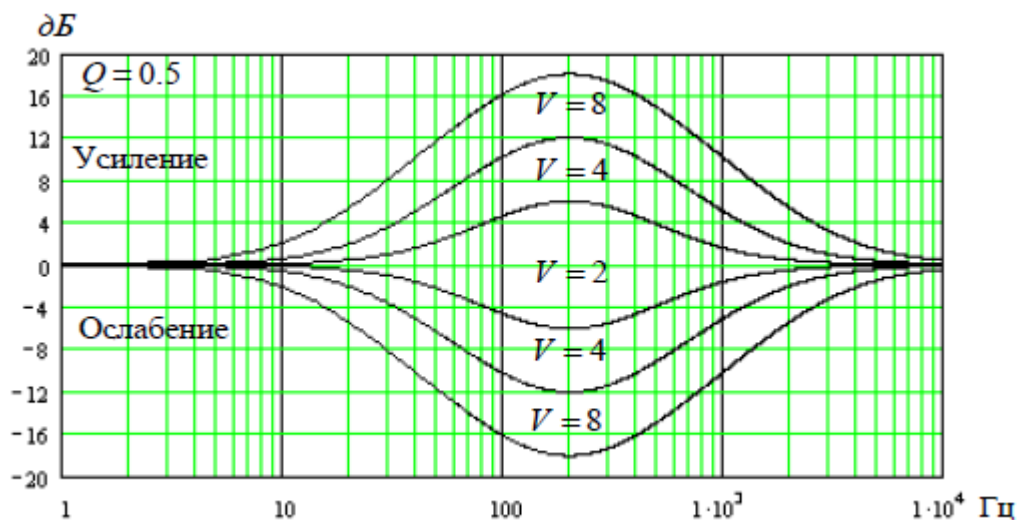


Рисунок 1.7 – АЧХ полосового фильтра 2 порядка при максимальном подъеме (спаде) уровня АЧХ от 6 до 12 дБ

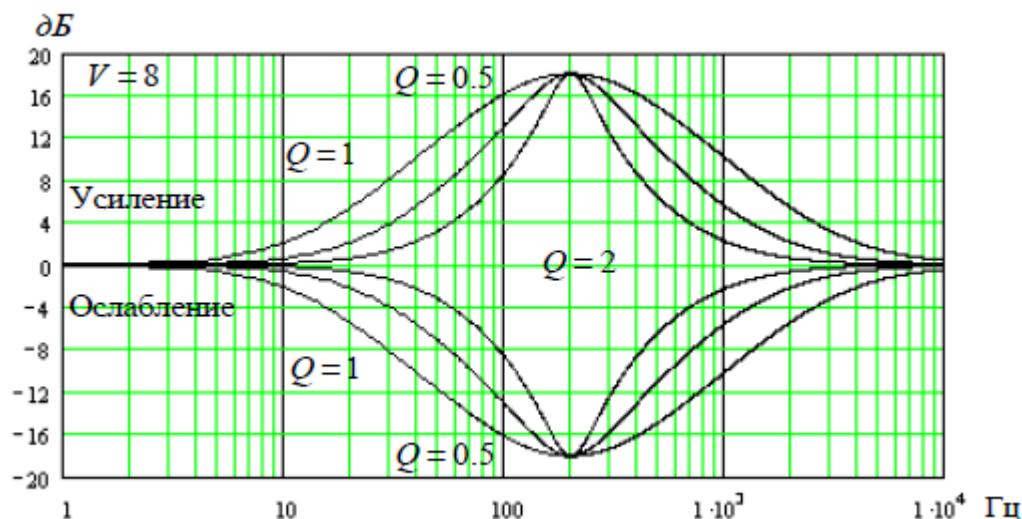


Рисунок 1.8 – АЧХ пикового полосового фильтра 2 порядка при изменении добротности

На рис. 1.8 приведены рассчитанные графики АЧХ цифрового полосового фильтра с центральной частотой 200 Гц с максимальным подъемом и спадом АЧХ 18 дБ при изменении добротности фильтра от 0,5 до 2.

Пиковые полосовые фильтры применяются во всех графических и, особенно, в параметрических и параграфических эквалайзерах. На их основе

строятся фильтры присутствия. Они используются для выделения и подавления отдельных частот.

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 ФНЧ Low-Shelf с параметрами $f_c = 300$ Гц, $G = 9$ дБ.
2	Реализовать ФНЧ High-Shelf с параметрами $f_c = 600$ Гц, $G = 12$ дБ.
3	Реализовать пиковый фильтр 2-го порядка с параметрами $f_c = 500$ Гц, $Q = 0.5$, $V = 8$.
4	Реализовать фильтр типа Bell с параметрами $f_c = 900$ Гц, $Q = 2$, $V = 6$.
5	Реализовать ФВЧ Low-Shelf с параметрами $f_c = 1000$ Гц, $G = -24$ дБ.
6	Реализовать ФВЧ High-Shelf с параметрами $f_c = 1200$ Гц, $G = -12$ дБ.
7	Реализовать ФНЧ Low-Shelf с параметрами $f_c = 2000$ Гц, $G = -9$ дБ.
8	Реализовать ФВЧ High-Shelf с параметрами $f_c = 1800$ Гц, $G = 12$ дБ.

1. Построить АЧХ полученного фильтра.
2. Обработать файл с музыкальной композицией полученным фильтром.
3. Построить спектрограммы сигнала до и после обработки фильтра.

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 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.