

ГУАП

КАФЕДРА № 44

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

доц., канд. техн. наук, доц.
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

О. О. Жаринов
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Разработка рекурсивного цифрового фильтра на ПЛИС

по курсу: СХЕМОТЕХНИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № 4143

подпись, дата

А. М. Гридин
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2024

1. Цель работы

Изучить методологию расчета цифровых фильтров и способ их реализации на ПЛИС с использованием языков описания аппаратуры.

Вариант 43. Разработка режекторного фильтра с граничными частотами полосы пропускания фильтра в 10 Гц и 30 Гц по фильтру-прототипу Чебышева.

2. Краткие теоретические сведения о задачах фильтрации сигналов и их практическом применении, а также о методах фильтрации во временной области, и рекурсивных цифровых фильтрах.

Фильтрация является одним из широко применяемых методов обработки сигналов. К методам фильтрации прибегают, когда об обрабатываемом процессе (который представлен последовательностью чисел $\{x_n\}$, получаемых с аналого-цифрового преобразователя, работающего с периодом дискретизации $T\Delta$), заранее известно, что он состоит из аддитивной смеси полезного сигнала $\{s_n\}$ и некоторой помехи v_n : $x_n = s_n + v_n$.

Основная цель фильтрации – ослабление компонентов помехи, и формирование выходного сигнала u_n , который будет наиболее близким по форме к полезному сигналу. При решении данной задачи нужно знать частотные диапазоны, в которых локализована основная энергия полезного сигнала и помехи.

Цифровые фильтры бывают рекурсивными и нерекурсивными. Рекурсивные при прочих равных условиях требуют намного меньшего объема вычислений.

Основная задача расчета рекурсивного фильтра заключается в вычислении коэффициентов b и a по заданным частотным характеристикам. Для расчета фильтра существуют разные методы, наиболее простым из которых является метод расчета по аналоговому фильтру-прототипу с использованием отображения переменной преобразования Лапласа.

Расчет рекурсивного цифрового фильтра сводится к преобразованию формулы для передаточной функции аналогового фильтра-прототипа $W(p)$ в формулу для дискретной передаточной функции цифрового фильтра $D(z)$ по

стандартным методикам. В качестве $W(p)$ принято использовать нормированные передаточные функции прототипов фильтров нижних частот типовых семейств фильтров (Баттерворта, Чебышева, Бесселя, и т.д.)

3. Программа, в которой представлены результаты моделирования, с необходимыми комментариями (назначение констант и переменных, функций, и т.п.).

Данная часть работы была выполнена в MatLab. Ниже код программы. С помощью неё удалось получить коэффициенты передаточной функции и значения переходной характеристики.

```
clc, clear, close all
Analogue_Order=1; % порядок фильтра
lFr=10; uFr=30; Fd=1000; N=15000; % нижняя и верхняя граница частоты пропускания, TD= 0.1 ms
[b,a]=cheby1(Analogue_Order,0.5,[2.*lFr/Fd, 2.*uFr/Fd],'stop'); % Расчёт РФ Чебышева 1-го рода
[H, F]=freqz(b,a,N,'whole',Fd);
f=[0:(Fd/N):Fd/2];
W=H(1:length(f));
figure(1),semilogx(f,20*log(abs(W))./log(10)),grid %График АЧХ

for i=1:400
    input_signal(i)=100; % заполнение x значением 100
end
output_signal=filter(b,a,input_signal); %алгоритм фильтрации
figure(2)
plot(output_signal(1:400)) %график переходной характеристики
```

4. Графики АЧХ и переходной характеристики.

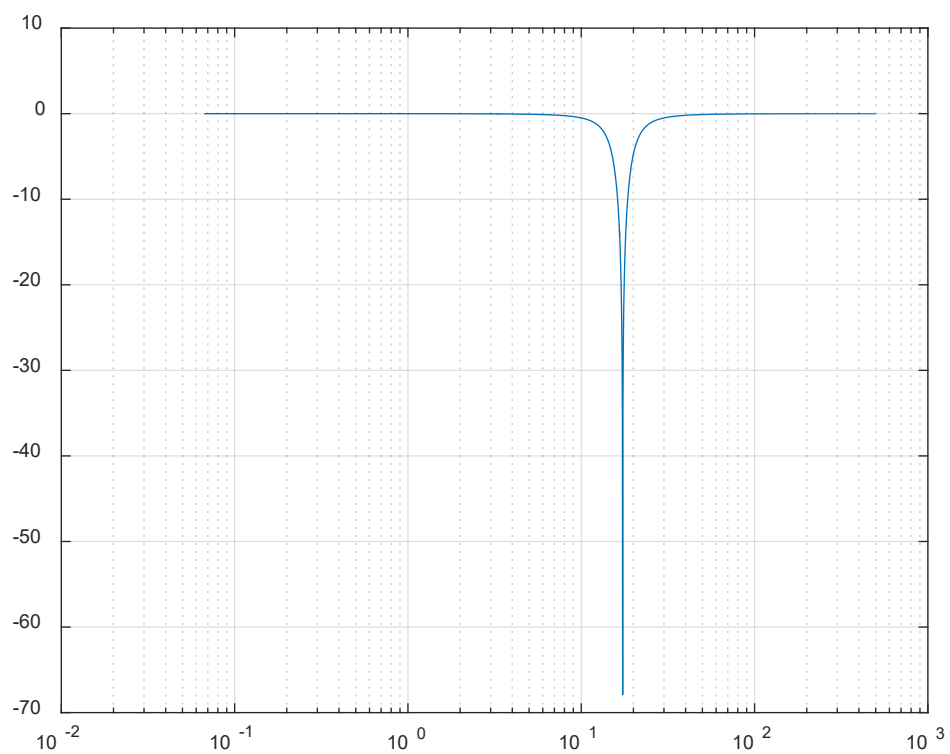


Рисунок 1 – График АЧХ режекторного фильтра Чебышева 1-го рода

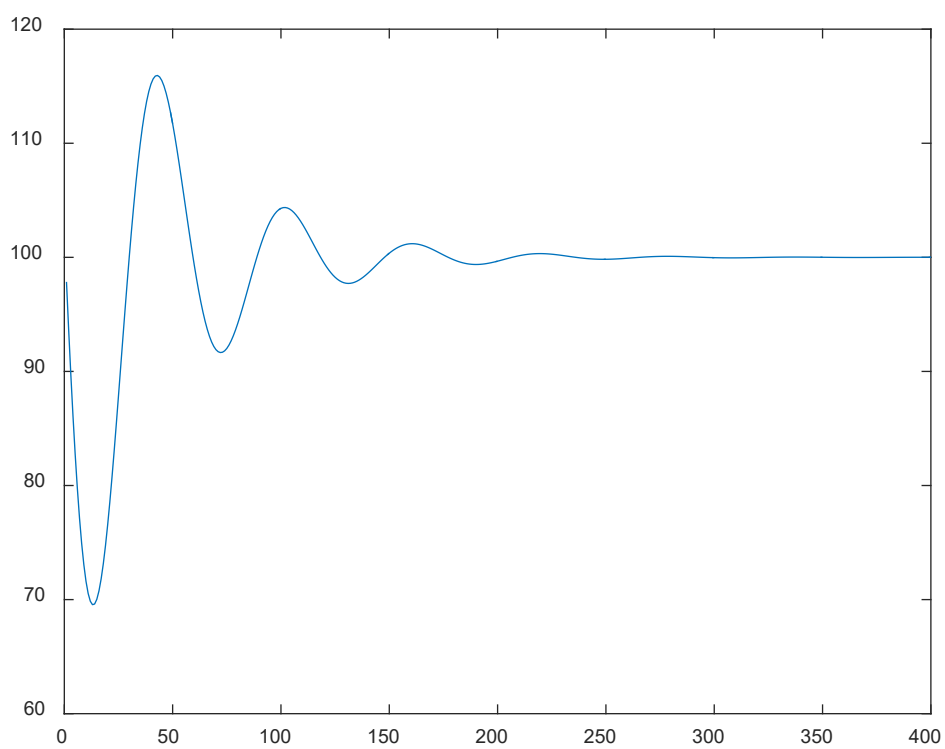


Рисунок 2 – График переходной характеристики режекторного фильтра Чебышева 1-го рода

```
>> output_signal(1:50)

ans =

Columns 1 through 11

    97.8496    93.6662    89.7361    86.0940    82.7698    79.7883    77.1693    74.9277    73.0731    71.6104    70.5397

Columns 12 through 22

    69.8566    69.5524    69.6141    70.0255    70.7667    71.8149    73.1447    74.7287    76.5375    78.5405    80.7062

Columns 23 through 33

    83.0023    85.3968    87.8576    90.3533    92.8535    95.3290    97.7522    100.0972    102.3402    104.4597    106.4363

Columns 34 through 44

   108.2533   109.8964   111.3542   112.6176   113.6804   114.5389   115.1920   115.6408   115.8891   115.9424   115.8087

Columns 45 through 50

   115.4974   115.0199   114.3887   113.6180   112.7225   111.7180
```

Рисунок 3 – Значения переходной характеристики

5. Описание процесса разработки программы на языке Verilog: описание модулей, структуры фильтра, задания значений констант.

Реализация алгоритмов цифровой фильтрации на ПЛИС требует использования в проекте арифметических операций умножения и сложения чисел с плавающей точкой. В библиотеке компонентов Quartus такие блоки имеются.

Для реализации цифрового фильтра достаточно:

- altfp_convert – блок преобразования типов данных (из float в integer и наоборот);
- altfp_mult – блок выполнения операции умножения;
- altfp_add_sub – блок выполнения операции сложения-вычитания.

Настроенные блоки показаны на рисунке 4.

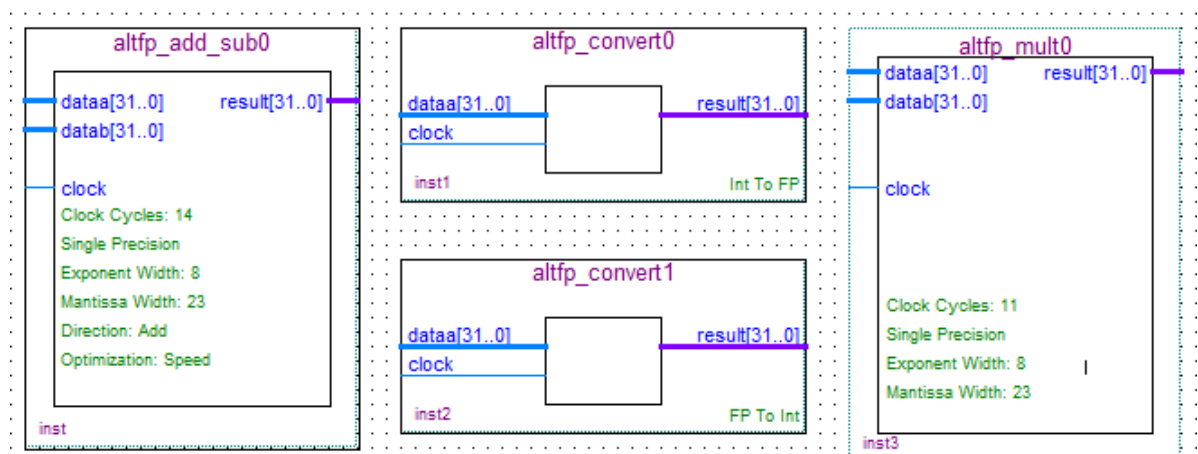


Рисунок 4 – Блоки для реализации цифрового фильтра

Файл проекта lr7_20241.sv

```
module lr7_20241(  
    c, // clocks - тактовый сигнал  
    TD, // последовательность с частотой дискретизации  
    X, // входные отсчеты  
    Y // выходные отсчеты  
);  
  
input wire c; // тактовый синхронизирующий сигнал с периодом в 10 мкс  
input wire TD; // тактовая последовательность с периодом дискретизации 2 мс  
input wire [15:0] X; // 16-разрядное целое со знаком - вх. код с АЦП  
output wire [15:0] Y; // 16-разрядное целое со знаком - вых. код для ЦАП  
wire [15:0] Xn, Xn_1, Xn_2; // история входных отсчетов  
wire [31:0] XFn, XFn_1, XFn_2; // входные X float  
wire [31:0] YF, YFn, YFn_1, YFn_2; // выходные Y float  
wire [31:0] B0_XFn, B1_XFn_1, B2_XFn_2, _A1_YFn_1, _A2_YFn_2, B0_B1_X,  
    B0_B1_B2_X, B0_B1_B2_A1_XY;  
wire [31:0] BF0, BF1, BF2; // три константы числителя ПФ РЦФ  
wire [31:0] AF1, AF2; // три константы знаменателя ПФ РЦФ  
// переводим из float в hex на сайте https://www.h-  
schmidt.net/FloatConverter/IEEE754.html  
always @*  
begin  
    BF0 = 32'h3f7a7efa; // +0.9785  
    BF1 = 32'hbff902de; // -1.9454  
    BF2 = 32'h3f7a7efa; // +0.9785  
    AF1 = 32'h3ff902de; // -1.9454 но поменяли на +1.9454  
    AF2 = 32'hbf74fdf4; // +0.9570 но поменяли на -0.9570  
end  
// формируем рекурсивные связи входных и выходных отсчетов:  
always @ (posedge TD)
```

```

begin
Xn_2 <= Xn_1; Xn_1 <= Xn; Xn <= X; // пересылка данных в прошлое по вх.
отсчетам
YFn_2 <= YFn_1; YFn_1 <= YFn; // пересылка данных в прошлое по вых.
отсчетам
YF <= YFn;
end

// преобразования входной последовательности отсчетов из integer в float
altfp_convert0 int2float_Xn (.clock(c), .dataa(Xn), .result(XFn));
altfp_convert0 int2float_Xn_1 (.clock(c), .dataa(Xn_1), .result(XFn_1));
altfp_convert0 int2float_Xn_2 (.clock(c), .dataa(Xn_2), .result(XFn_2));

// умножения нерекурсивной части разностного уравнения
altfp_mult0 float_multiplication_B0X (.clock(c), .dataa(XFn), .datab(BF0),
.result(B0_XFn));
altfp_mult0 float_multiplication_B1X (.clock(c), .dataa(XFn_1), .datab(BF1),
.result(B1_XFn_1));
altfp_mult0 float_multiplication_B2X (.clock(c), .dataa(XFn_2), .datab(BF2),
.result(B2_XFn_2));

// умножения рекурсивной части разностного уравнения
altfp_mult0 float_multiplication_A1Y (.clock(c), .dataa(YFn_1), .datab(AF1),
.result(_A1_YFn_1) );
altfp_mult0 float_multiplication_A2Y (.clock(c), .dataa(YFn_2), .datab(AF2),
.result(_A2_YFn_2) );

// сложения компонентов разностного уравнения
altfp_add_sub0 altfp_add_sub0_B0B1 (.clock(c), .dataa(B0_XFn),
.datab(B1_XFn_1), .result(B0_B1_X) );
altfp_add_sub0 altfp_add_sub0_B0B1B2 (.clock(c), .dataa(B0_B1_X),
.datab(B2_XFn_2), .result(B0_B1_B2_X) );
altfp_add_sub0 altfp_add_sub0_BOB1B2A1 (.clock(c), .dataa(B0_B1_B2_X),
.datab(_A1_YFn_1),

```

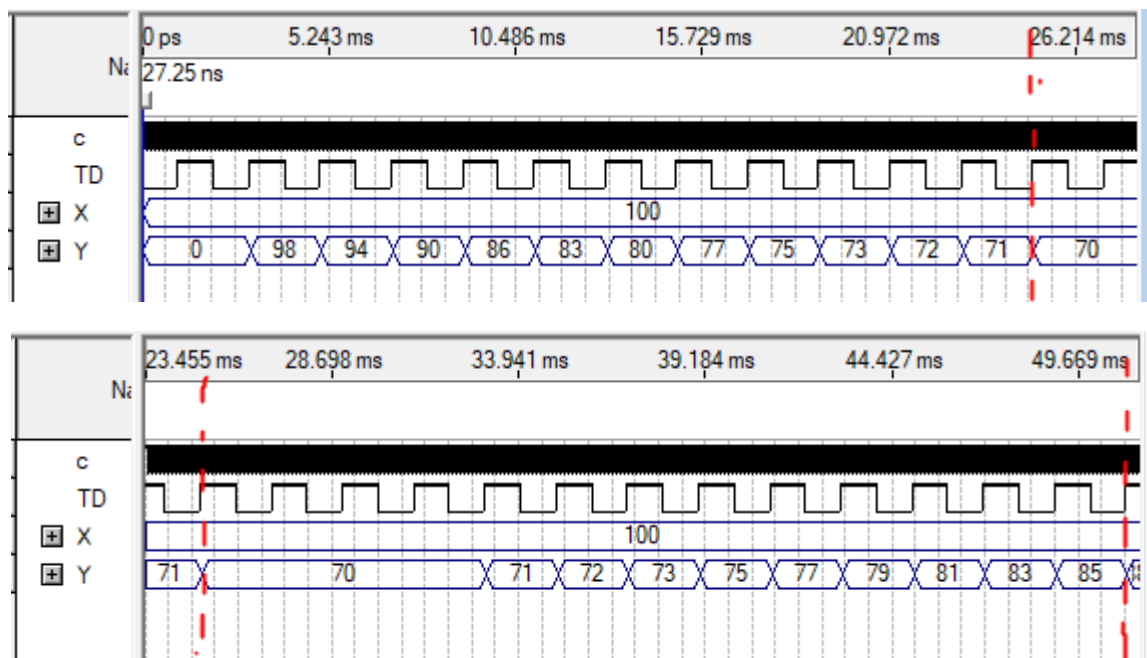
```

.result(B0_B1_B2_A1_XY) );
altfp_add_sub0    altfp_add_sub0_Yn    (.clock(c),    .dataa(B0_B1_B2_A1_XY),
.datab(_A2_YFn_2), .result(YFn) );
// преобразование выходного отсчета
altfp_convert1 float2int_Y (.clock(c), .dataa(YF), .result(Y) );
endmodule

```

6. Результаты моделирования с комментариями, которые подтверждают корректность выполнения задания на лабораторную работу

На рисунках 4 (а, б, в, г) показана часть результатов моделирования. Период следования импульсов на входе с задан 10 мкс, на входе TD – 2 мс. Входной код на шине X равен 100 для всех отсчетов. Если их сравнить со значениями на рисунке 3, то станет ясно что наше задание выполнено корректно. Различия плюс-минус 1 единица обусловлены округлением значений до целочисленного формата в проекте для ПЛИС, т.к. выходные отсчеты данных должны подаваться на вход ЦАП.



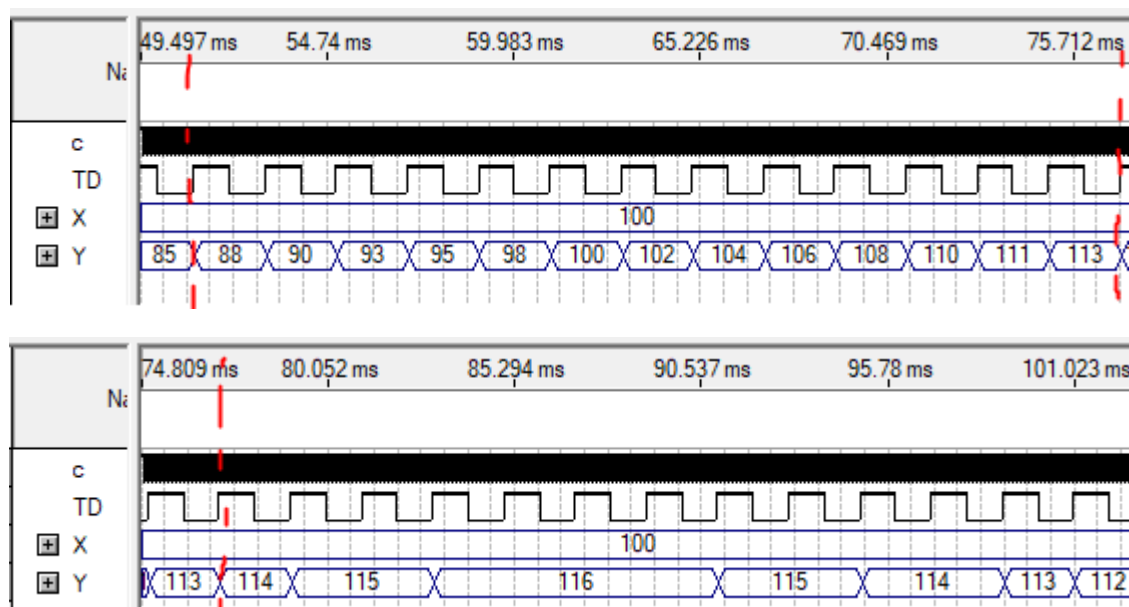


Рисунок 4 (а, б, в, г) – Результаты моделирования

7. Выводы, в которых отражены особенности изученных методов и свойства полученных результатов

В ходе лабораторной работы была изучена методология расчета цифровых фильтров и способ их реализации на ПЛИС с использованием языков описания аппаратуры. Были изучены метод трапеции как метода расчёта фильтра, метод билинейного преобразования (преобразование Тастина), свойство линейности и теорема смещения. Режекторный фильтр используется для ослабления частоты в заданном диапазоне, что и было показано в части нашей работы.

8. Список используемых источников.

1. Методические указания по ЛР№7 [Электронный ресурс], URL - <https://pro.guap.ru/inside/student/tasks/ad082e0862c9584d5144a1bd553cf8b0/download>
2. Лекция по схемотехнике от 25 марта 2024г. [Электронный ресурс], URL - <https://bbb2.guap.ru/playback/presentation/2.3/8df832b35e59b7b17bb499a557e56942cdbfdf0b-1711367744513>
3. Лекция по схемотехнике от 8 апреля 2024г. [Электронный ресурс], URL -

<https://bbb2.guap.ru/playback/presentation/2.3/a6ff35572040a1e35c40a0f1dce7d285f414ed63-1712576737388>

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В МАТЛАВ. Часть 1.
Учеб. пособие. // В. А. Ненашев, Е. К. Григорьев, СПб, ГУАП, 2022 г