

ГУАП

КАФЕДРА № 44

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

доцент, к.т.н., доцент
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

О.О. Жаринов
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №7

Разработка рекурсивного цифрового фильтра на ПЛИС

по курсу: СХЕМОТЕХНИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР. № _____ 4143

подпись, дата

Д.В. Пономарев
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2024

1. Цель работы

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

2. Вариант задания

Вариант 50. Фильтр нижних частот. Прототип Чебышева. Граничные полосы частот 0-400Гц.

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

Фильтрация - это процесс изменения соотношения между различными компонентами сигнала. Чаще всего это делается для выделения определенных частей сигнала, находящихся в определенном диапазоне частот (полосе пропускания). Дискретные линейные системы описываются разностными уравнениями и дискретной сверткой во временной области, что аналогично дифференциальным уравнениям и интегралам свертки в аналоговых системах. Цифровые фильтры могут быть рекурсивными (с обратной связью) или нерекурсивными (без обратной связи). Рекурсивные фильтры используют предыдущие отсчеты выходного сигнала для обработки текущего входного сигнала.

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

Листинг кода:

```
clc
clear
close all

Fd = 10000; % Частота дискретизации
up_freq = 400; % Нижняя граница частоты полосы пропускания
analog_order = 1; % Порядок фильтра

% Создаем прототип аналогового ФНЧ Чебышева
[z,p,k] = cheb1ap(analog_order, 0.5); % 0.5 дБ неравномерность
```

```

% Переводим нули-полюсы фильтра в передаточную функцию
[b,a] = zp2tf(z,p,k);

% Преобразуем ФНЧ прототип к нужной частоте среза
[bt,at] = lp2lp(b,a,wp_freq*2*pi); % Частоту нужно перевести в угловую

% Переводим передаточную функцию обратно в нули-полюсы
[z_new,p_new,k_new] = tf2zp(bt,at);

% Применяем билинейное Z-преобразование
[zd,pd,kd] = bilinear(z_new,p_new,k_new,Fd);

% Преобразуем в каскадную форму, состоящую из секций 2-го порядка
sos = zp2sos(zd,pd,kd);

% Получаем коэффициенты рассчитанного фильтра
[b,a] = sos2tf(sos);

N = 1000; % Точки графика АЧХ
[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
ylim([-80 10])
xlim([10 2800])

for i = 1:35 % На вход подается 35 сигналов
    input_signal(i) = 100;
end

```

```

output_signal = filter(b,a,input_signal);
disp("Числовые значения точек переходной характеристики:")
disp(output_signal(1:35))
figure(2)
plot(output_signal(1:35)) % График Переходной характеристики

```

В пакете MATLAB было произведено моделирование, это позволило получить точки переходной характеристики (рисунок 1) и коэффициенты передаточной функции a , b (рисунок 2).

```

Числовые значения точек переходной характеристики:
Columns 1 through 11
    26.4569    65.3714    83.6947    92.3225    96.3849    98.2978    99.1985    99.6226    99.8223    99.9163    99.96

Columns 12 through 22
    99.9814    99.9913    99.9959    99.9981    99.9991    99.9996    99.9998    99.9999    100.0000    100.0000    100.00

Columns 23 through 33
    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.0000    100.00

Columns 34 through 35
    100.0000    100.0000

```

Рисунок 1 – Точки переходной характеристики

Name ▲	Value
a	[1,-0.4709,0]
analog_order	1
at	[1,7.1949e+03]
b	[0.2646,0.2646,0]
bt	7.1949e+03
f	1x501 double
F	1000x1 double
Fd	10000

Рисунок 2 – Коэффициенты a, b передаточной функции

5. Графики АЧХ и переходной характеристики

В пакете MATLAB было смоделирован фильтр первого порядка. Графики представлены на рисунках 3-4.

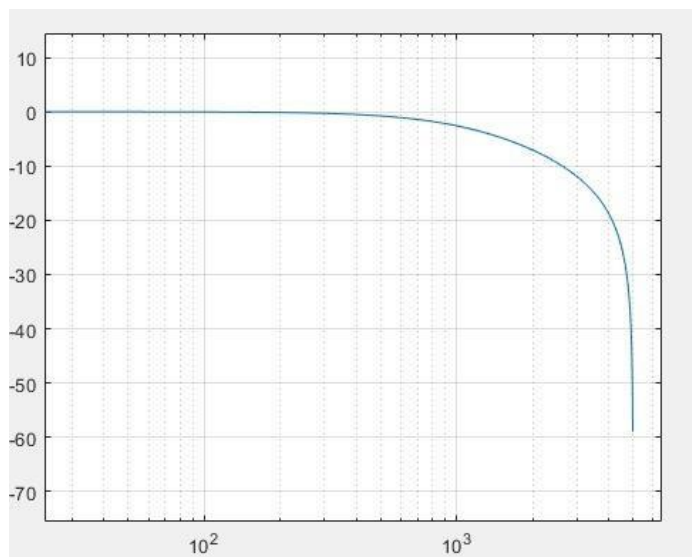


Рисунок 3 – АЧХ фильтра низких частот Чебышева 1 порядка

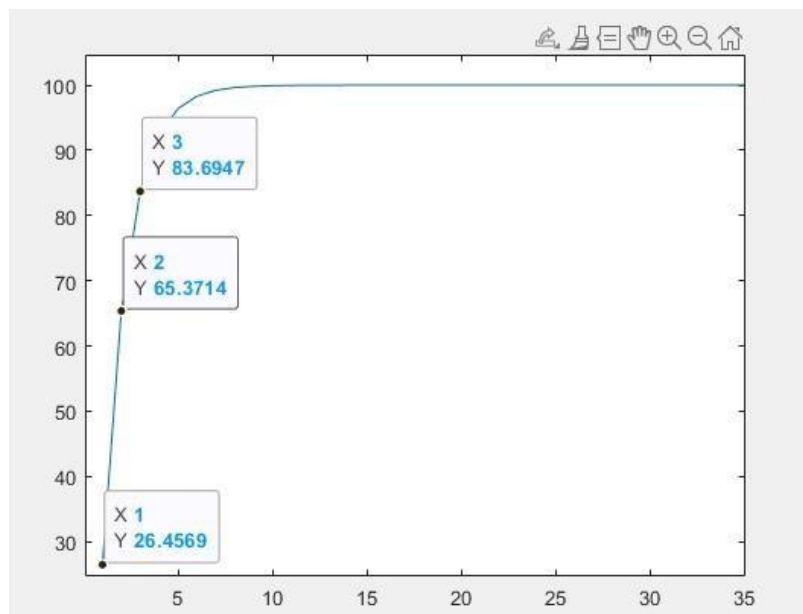


Рисунок 4 – Переходная характеристика фильтра 1 порядка

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

Для успешной реализации алгоритмов цифровой фильтрации на ПЛИС необходимо использовать операции умножения и сложения. В связи с высокой точностью вычислений, которая требуется при использовании фильтров, необходимо в проекте применять блоки, способные выполнять арифметические операции над числами с плавающей точкой. Для этого были использованы и настроены блоки: altfp_convert – блок преобразования типов данных; - altfp_mult – блок выполнения операции умножения; - altfp_add_sub – блок выполнения операции сложения-вычитания.

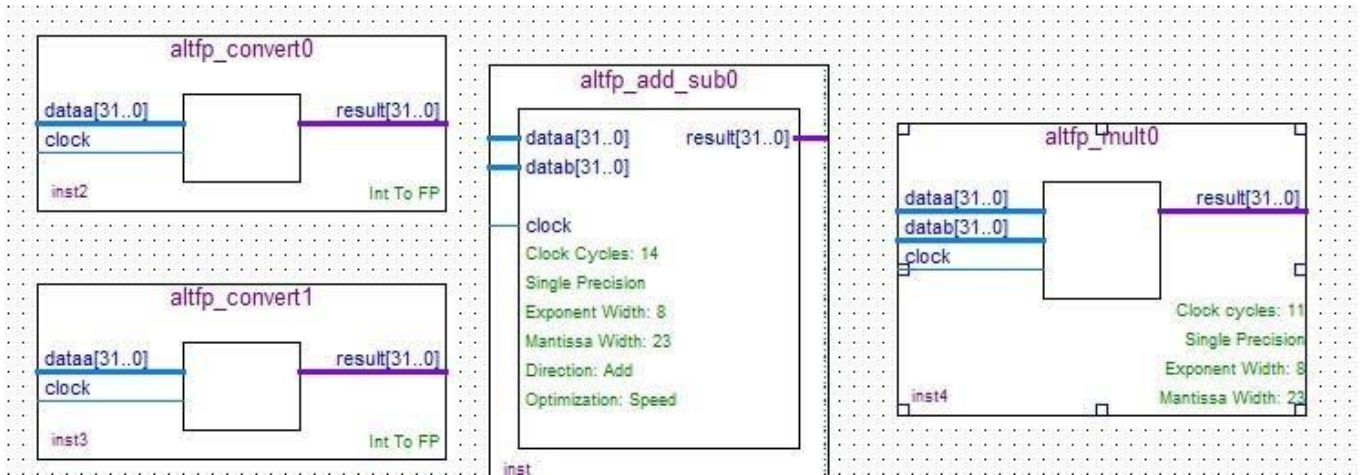


Рисунок 5 – Блоки компонентов для фильтра нижних частот

Листинг кода:

```

• module lab7
(
  c, // clocks - тактовый сигнал
  TD, // последовательность с частотой дискретизации
  X, // входные отсчеты
  Y // выходные отсчеты
);
input wire c; // тактовый синхронизирующий сигнал с периодом в 0.001ms
input wire TD; // тактовая последовательность с периодом дискретизации 0.1ms
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
reg [15:0] Xn, Xn_1; // история входных отсчетов
wire [31:0] XFn, XFn_1; // входные X float
reg [31:0] YF, YFn_1; // выходные Y float
wire [31:0] YFn;
wire [31:0] B0_XFn, B1_XFn_1, _A1_YFn_1, B0_B1_X;
reg [31:0] BF0, BF1; // две константы числителя ПФ РЦФ
reg [31:0] AF1; // одна константа знаменателя ПФ РЦФ
always @*
begin
  BF0 = 32'h3E8779A7; // B0 = 0.2646
  BF1 = 32'h3E8779A7; // B1 = 0.2646
  AF1 = 32'h3EF119CE; // A1 = 0.4709
end
// формируем рекурсивные связи входных и выходных отсчетов:
always @ (posedge TD)
begin
  Xn_1 <= Xn; Xn <= X; // пересылка данных в прошлое по вх.отсчетам
  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));
// 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));

```

```
// умножения рекурсивной части разностного уравнения
altfp_mult0 float_multiplication_A1Y (.clock(c), .dataa(YFn_1),
.datab(AF1), .result(_A1_YFn_1) );
// 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_BOB1B2A1 (.clock(c), .dataa(B0_B1_X),
.datab(_A1_YFn_1),.result(YFn) );
// преобразование выходного отсчета
altfp_convert1 float2int_Y (.clock(c), .dataa(YF), .result(Y) );
endmodule
```

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

Результаты моделирования на Verilog совпали с результатами моделирования в MATLAB.

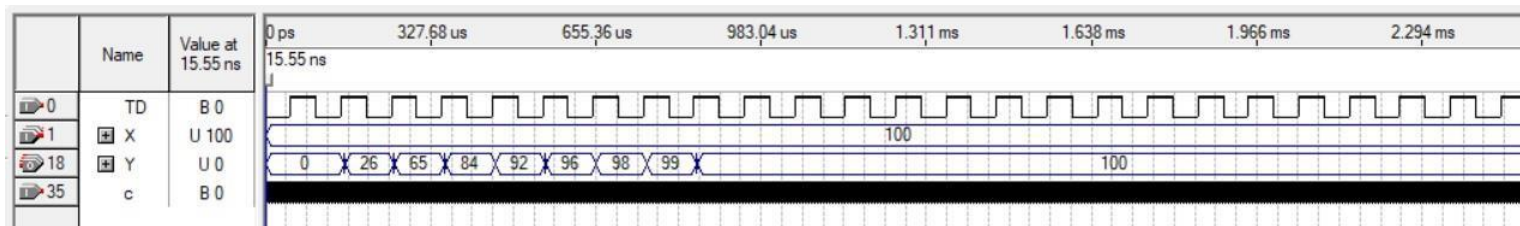


Рисунок 6 – Результаты моделирования разработанного проекта

8. Вывод:

В ходе лабораторной работы изучена методология расчета цифровых фильтров и способ их реализации на ПЛИС с использованием языков описания аппаратуры. Фильтр нижних частот с граничными полосами частот 0-400 Гц и прототипом Чебышева с неравномерностью 0.5 дБ является одним из наиболее распространенных типов цифровых фильтров. В отличие от фильтра Бесселя, фильтр Чебышева обеспечивает более резкое падение амплитуды в полосе перехода, что может быть важно для определенных приложений. Он также обладает хорошей подавлением высокочастотных помех при сохранении низкочастотного

сигнала.

9. Список использованных источников

1. Проектирование встраиваемых систем на ПЛИС. / З.Наваби; перев. с англ. В.В. Соловьева. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 464 с.
2. Проектирование цифровых устройств на ПЛИС: учеб. пособие / И.В. Ушенина. – СПб: Лань, 2022. – 408 с.
3. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д.М. Харрис, С.Л. Харрис; пер. с англ. Imagination Technologies. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 792 с.
4. Учебно-методические материалы к выполнению лабораторной работы №7 по дисциплине «Схемотехника» (2-й семестр изучения дисциплины) // Жаринов. О.О: [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. URL.:
<https://pro.guap.ru/inside/student/tasks/ad082e0862c9584d5144a1bd553cf8b0/download> (Дата обращения: 26.04.24).
5. Лекция №5 от 8 апреля 2024 года по дисциплине «Схемотехника» (2-й семестр изучения дисциплины) // Жаринов. О.О: [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. URL.:
<https://bbb2.guap.ru/playback/presentation/2.3/a6ff35572040a1e35c40a0f1dce7d285f414ed63-1712576737388> (Дата обращения: 26.04.24).
6. Лекция. Основы фильтрации. по дисциплине «Моделирование» (2-й семестр изучения дисциплины) // Григорьев. Е.К: [Электронный ресурс] // Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. URL.:
<https://drive.google.com/file/d/17r1vfsWZSXW3GYzxXVilixSjgLqv73iF/view>