

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета РТЭ _____ В.А. Небольсин

«___» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____ /А.В. Строгонов/

Заведующий кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники _____ /С.И. Рембеза/

Руководитель ОПОП _____ /Г.И. Липатов/

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины – формирование у обучающихся знаний о методах и средствах аппаратно-программной реализации цифровой обработки сигналов для проектирования схем считывания сигналов датчиков МЭМС с замкнутым контуром с низким уровнем шума и низким энергопотреблением.

1.2. Задачи освоения дисциплины: ознакомление обучающихся с базовыми основами дискретизации сигналов по времени, их цифрового представления, цифровой фильтрации, спектрально-корреляционного анализа, обработки, переноса и преобразования спектров, применения методов ЦОС в системах анализа-синтеза сигналов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Цифровая обработка сигналов» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Цифровая обработка сигналов» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;

ПКВ-1 — способность владеть современными методами моделирования и проектирования приборов и устройств микро- и наноэлектроники, способность к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знает теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой; - основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL); основные структуры цифровых фильтров; методы обработки цифровых сигналов;
	умеет работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;
	владеет навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink; навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE Vivado;
ПКВ-1	знает основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; методы синтеза цифровых фильтров; методы синтеза аналоговых фильтров прототипов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров;
	умеет строить имитационные модели сложно-функциональных цифро-

	вых устройств обработки сигналов в системе Matlab/Simulink с использованием языка М-файла, fi-объектов и графического представления цифровых автоматов (StateFlow); строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мега-функций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE Vivado;
	владеет приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования аналоговых и цифровых КИХ-фильтров в базисе ПЛИС.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Цифровая обработка сигналов» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации — зачет	+	+
Общая трудоемкость		
академические часы	108	108
з.е.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Преобразование аналогового сигнала в цифровой	Ключевые операции ЦОС. Дискретизация сигналов. Квантование, кодирование. Выборка с запасом по частоте. Дискретные преобразования. Z-преобразования. Корреляция и свертка	4	—	6	10
2	Универсальные и специализированные процессоры ЦОС	Вычислительные архитектуры обработки сигналов. Универсальные процессоры ЦОС. Процессоры ЦОС с фиксированной запятой. Процессоры ЦОС с плавающей запятой. Реализация алгоритмов ЦОС на универсальных процессорах. Специализируемая аппаратура	4	—	6	10

		ЦОС				
3	Методы проектирования аналоговых и цифровых фильтров	Метод взвешивания, оптимизационные методы, метод частотной выборки	4	4	6	14
4	Структуры цифровых фильтров в базисе ПЛИС	Прямая структура, прямая каноническая структура 1, каноническая структура 2, каноническая структура 3, каскадная структура, параллельная структура	4	4	6	14
5	Проектирование систолических КИХ-фильтров в базисе ПЛИС	Генератор параметризованных ядер XLogiCORE IP. Функции FIR Compiler v6.3 САПР ПЛИС Xilinx ISE для проектирования систолических КИХ-фильтров	4	—	6	10
6	Проектирование КИХ-фильтров на распределенной арифметике в базисе ПЛИС	Последовательная распределенная арифметика. Параллельная распределенная арифметика. Особенности распределенной арифметики для реализации в базисе ПЛИС	4	—	6	10
7	Расчет параметров фильтров с использованием среды FDATool системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink	Состав библиотеки DSP Xilinx blockset. Графическая среда для синтеза и анализа фильтров FDATool	4	4	6	14
8	Использование системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink для проектирования цифровых фильтров в САПР ISE Design Suite	Система Xilinx System Generator САПР ISE Design Suite. Создание проектов КИХ-фильтров в САПР ISE Design Suite	4	—	6	10
9	Использование системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink для проектирования цифровых фильтров в САПР QUARTUS II	Система визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink с использованием Altera DSP Builder. Создание проектов КИХ-фильтров в САПР QUARTUS II	4	6	6	16
Итого			36	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Параллельная реализация КИХ-фильтра на четыре отвода с использованием четырех перемножителей в блоке (мегафункция ALTMULT_ACCUM, линия задержки построена на внутренних регистрах перемножителей MULT0-MULT3) и четырех умножителей (мегафункция ALTMEMMULT, линия задержки построена на четырех регистрах, коэффициенты фильтра загружаются из внешнего порта) в САПР Altera Quartus II.

2. Разработка проекта последовательного КИХ-фильтра на четыре отвода

(1 MAC FIR Filter), а также с использованием умножителя и аккумулятора на мегафункции ALTMULT_ACCUM в САПР Altera Quartus II.

3. Проектирование КИХ-фильтров с учетом эффектов квантования в Matlab/Simulink.

4. Проектирование последовательных КИХ-фильтров и фильтров Добеши в системе визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink с использованием Altera DSP Builder.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знает теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой; - основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL); основные структуры цифровых фильтров; методы обработки цифровых сигналов	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочей программе	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочей программе
	умеет работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров			
	владеет навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink; навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE Vivado			
ПКВ-1	знает основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; методы синтеза цифровых фильтров; методы синтеза аналоговых фильтров прототипов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров	Защита лабораторной работы. Тест	Выполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочей программе	Невыполнение заданий в срок, предусмотренный в рабочей программе
	умеет строить имитационные модели сложно-функциональных цифровых			

	устройств обработки сигналов в системе Matlab/Simulink с использованием языка М-файла, fi-объектов и графического представления цифровых автоматов (StateFlow); строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мегафункций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE Vivado		
	владеет приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования аналоговых и цифровых КИХ-фильтров в базе ПЛИС		

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»;

«не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	знает теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL); основные структуры цифровых фильтров; методы обработки цифровых сигналов	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	умеет работать с пакетом Signal Processing среды FDATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеет навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink; навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE Vivado	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-1	знает основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; методы синтеза цифровых фильтров; методы синтеза аналоговых фильтров прототипов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	умеет строить имитационные модели сложно-функциональных цифровых устройств обработки сигналов в системе Matlab/Simulink с использованием языка	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	М-файла, fi-объектов и графического представления цифровых автоматов (StateFlow); строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мега-функций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE Vivado		большинстве задач	
	владеет приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования аналоговых и цифровых КИХ-фильтров в базисе ПЛИС	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Постройте графики частотных характеристик дискретного фильтра для вектора коэффициентов нерекурсивной части $b = [-2 \ -1 \ 7 \ 6]$ и вектора коэффициентов рекурсивной части $a = [1]$ с помощью функции `freqz(b,a)`.

1	<code>b=[-2 -1 7 6]; a=[1]; freqz(b,a)</code>
2	<code>b=[-2 -1 7 6]; a=[1]; freq(b,a)</code>
3	<code>b=[-2 -1 7 6]; a=[1]; freqz(a,b)</code>

2. Сформируйте сигнал в виде радиоимпульса с треугольной огибающей с частотой дискретизации $F_s = 1000$ Гц и несущей частотой $F_c = 5$ Гц:

1	<code>Fs=1000; t=-1:1/Fs:1.5; Fc=5; A=(1-abs(t)).*(abs(t)<=1); s=A.*cos(2*pi*Fc*t);</code>
2	<code>Fs=1000; t=-1:1/Fs:1.5; Fc=25; A=(1+abs(t)).*(abs(t)<=1); s=A.*cos(2*pi*Fc*t);</code>
3	<code>Fs=1000; t=-1:1/Fs:1.5; Fc=5; A=(1+abs(t)).*(abs(t)<=1); s=A.*cos(2*pi*Fc*t);</code>

3. Пропустите сигнал в виде радиоимпульса с треугольной огибающей с частотой дискретизации $F_s = 1000$ Гц и несущей частотой сигнала $F_c = 5$ Гц через ФНЧ Баттерворта 5-го порядка с нормированной частотой среза равной несущей частоте сигнала:

1	<code>[b,a]=butter(5,Fc*2/Fs) ; s1=filter(b,a,s); plot(t,s) figure plot(t,s1)</code>
2	<code>[[b,a]=butter(5,Fc);</code>

	s1=filter(b,a,s); plot(t,s) figure plot(t,s1)
3	[b,a]=butter(5,Fc*2/Fs); ; s1=filter(a,b,s); plot(t,s) figure plot(t,s1)

4. Постройте частотную характеристику ФНЧ Баттерворта с нормированной частотой среза равной несущей частоте сигнала, $F_s=1000$ Гц, $F_c=5$ Гц:

1	[b,a]=butter(5,Fc*2/Fs); f=0.01:0.01:10; freqz(b,a,f,Fs);
2	[b,a]=butter(5,Fc*2/Fs); f=0.01:0.01:10; freqz(b,a, Fc*2/Fs);
3	[b,a]=butter(5,Fc*2/Fs); freqz(b,a, Fc*2/Fs);

5. Пусть частота дискретизации равна $F_s=1000$ Гц. Синтезируйте ФНЧ Баттерворта с полосой пропускания от 0 до 40 Гц, пульсациями АЧХ в полосе пропускания, не превосходящими 3 дБ, и с подавлением сигнала как минимум 60 дБ в полосе задерживания, простирающейся от 150 Гц до частоты Найквиста, равной 500 Гц. Определите порядок фильтра и частоту среза. Постройте график АЧХ и ФЧХ полученного фильтра.

```
Wp = 40/500; Ws = 150/500;
[n,Wn] = buttord(Wp,Ws,3,60)
[b,a] = butter(n,Wn);
freqz(b,a,512,1000); title('n=5 Butterworth Lowpass Filter')
```

1	2	3	4
n=5 Wn=0.0810	n=5 Wn=0.0171	n=7 Wn=0.0810	n=3 Wn=0.0231

6. Вычислите с помощью функции conv свертку числовых последовательностей $x=[1 \ 3 \ 2]$ и $h=[1 \ 2 \ 3 \ 4]$.

1	2	3	4
x=[1 3 2] ; h = [1 2 3 4]; y= conv(x,h);	x=[1 3 2] ; h = [1 2 3 4]; y= con(x,h);	x=[1 3 2] ; h = [1 2 3 4]; y= fir1(x,h);	x=[1 3 2] ; h = [1 2 3 4]; y= filter(x,h);

7. Синтезируйте оптимальный аналоговый фильтр прототип (АФП) Чебышева I рода по заданным требованиям к АЧХ ФНЧ. Пульсация АЧХ в полосе пропускания $R_p=0,4455$ дБ и в полосе задерживания $R_s=40$ дБ. Граничная частота полосы пропускания, граничная частота полосы задерживания $f_p=1000$ и $f_s=1500$.

1	2	3
ft=1000; fk=1500; Wp=2.*pi.*ft; Ws=2.*pi.*fk;	ft=1000; fk=1500; Wp=2.*pi.*ft; Ws=2.*pi.*fk;	ft=1000; fk=1500; Wp=2.*pi.*ft; Ws=2.*pi.*fk;

rp=0.4455; rs=40; [n,Wn]=cheb1ord(Wp,Ws,rp,rs,'s'); [bs2,as2]=cheby1(n,rp,Wn,'s');	rp=0.4455; rs=40; [R4,Wn4]=ellipord(Wp,Ws,rp,rs,'s'); [bs4,as4]=ellip(R4,rp,rs,Wn4,'s');	rp=0.4455; rs=40; [R3,Wn3]=cheb2ord(Wp,Ws,rp,rs,'s'); [bs3,as3]=cheby2(R3,rs,Wn3,'s');
--	--	--

8. Постройте график АЧХ аналогового фильтра прототип Чебышева II рода по заданным требованиям к АЧХ ФНЧ. Пульсация АЧХ в полосе пропускания $R_p=0,4455$ дБ и в полосе задерживания $R_s=40$ дБ. Граничная частота полосы пропускания, граничная частота полосы задерживания $f_p=1000$ и $f_s=1500$. Частота дискретизации равна $F_s=8000$ Гц. Задается сетка частот (1000 точек). Основная полоса частот $[0; F_s/2]$.

1	Fs=8000; f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; W=2.*pi.*f; Ha3=freqs(bs3,as3,W); MAG3=abs(Ha3); plot(f,MAG3),xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Analog Filter Chebyshov II'),ylim([0 1]);
2	Fs=8000; f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; W=2.*pi.*f; Ha4=freqs(bs4,as4,W); MAG4=abs(Ha4); plot(f,MAG4);xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Analog Filter Eleptic'),ylim([0 1]);
3	Fs=8000; f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; W=2.*pi.*f; Ha1=freqs(bs1,as1,W); MAG1=abs(Ha1); plot(f,MAG1),xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Analog Filter Butterworth'),ylim([0 1])

9. Синтезируйте оптимальный цифровой полосовой БИХ-фильтр Баттерворта методом билинейного Z-преобразования. Пульсация АЧХ в полосе пропускания $R_p=0,4455$ дБ и в полосе задерживания $R_s=40$ дБ. Полоса пропускания $[1400\ 2000]$ Гц, полоса задерживания $[1000\ 2400]$ Гц, т.е. от 0 до 1000 Гц и от 2400 Гц до $F_s/2$. Частота дискретизации равна $F_s=8000$ Гц. Задается сетка частот (1000 точек). Основная полоса частот $[0; F_s/2]$.

1	Fs=8000;fs1=1000; fp1=1400; fp2=2000; fs2=2400; fp=[fp1 fp2]; fs=[fs1 fs2]; WDp=fp./(Fs/2); WDs=fs./(Fs/2); rp=0.4455; rs=40; [R1,WDn1]=buttord(WDp,WDs,rp,rs); [b1,a1]=butter(R1,WDn1); f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; [b1,a1]=butter(R1,WDn1); Ha1=freqz(b1,a1,f,Fs); MAG1=abs(Ha1); plot(f,MAG1),xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Digital Filter Butterworth'),ylim([0 1]);
2	Fs=8000;fs1=1000; fp1=1400; fp2=2000; fs2=2400; fp=[fp1 fp2]; fs=[fs1 fs2]; WDp=fp./(Fs/2); WDs=fs./(Fs/2); rp=0.4455; rs=40;

	<pre> [R2,WDn2]=cheb1ord(WDp,WDs,rp,rs); f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; [b2,a2]=cheby1(R2,rp,WDn2); Ha2=freqz(b2,a2,f,Fs); MAG2=abs(Ha2); plot(f,MAG2),xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Digital Filter Chebyshov I'),ylim([0 1]); </pre>
3	<pre> Fs=8000;fs1=1000; fp1=1400; fp2=2000; fs2=2400; fp=[fp1 fp2]; fs=[fs1 fs2]; WDp=fp./(Fs/2); WDs=fs./(Fs/2); rp=0.4455; rs=40; [R2,WDn2]=cheb2ord(WDp,WDs,rp,rs); f=0:((Fs/2)/1000):Fs/2; [b2,a2]=cheby1(R2,rp,WDn2); Ha2=freqz(b2,a2,f,Fs); MAG2=abs(Ha2); plot(f,MAG2),xlabel('f(Hz)'),grid,... ylabel('MAGNITUDE'),title('Digital Filter Chebyshov II'),ylim([0 1]); </pre>

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Сконструируйте ЛЧМ сигнал в системе Matlab со следующими параметрами: $fs=1e3$; (частота дискретизации 1кГц); $t=0:1/fs:1$; (вектор дискретных значений); $f0=1+[t*300]$; (частота импульса).

2. С помощью функции дискретной фильтрации `filter(h,1,x)`, где $h=[1 \ 2 \ 3 \ 4]$ вектор коэффициентов нерекурсивной части, 1 – вектор коэффициентов рекурсивной части, определите значения профильтрованного сигнала $x=[1 \ 3 \ 2 \ 0 \ 0 \ 0]$ подаваемого на вход КИХ-фильтра.

3. С помощью функции `filter(h,1,[1 \ 0 \ 0 \ 0])` рассчитайте импульсную характеристику дискретного фильтра с вектором коэффициентов нерекурсивной части $h=[1 \ 2 \ 3 \ 4]$.

4. Постройте график импульсной характеристики фильтра Баттерворта 5-го порядка с частотой среза, равной 0,2 частоты дискретизации $[b,a]=\text{butter}(5,0.2)$ с помощью функции `impz(b,a)`.

5. Синтезируйте КИХ-фильтр на 32 отвода с помощью функции (метод рядов Фурье со взвешиванием) `fir1` с частотой среза нормированной к частоте Найквиста $F_c=3/8$
`b=fir1(31,3/8);`
`freqz(b)`

6. Опишите условия, необходимые для того, чтобы реальный цифровой фильтр имел линейную фазовую характеристику.

7. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `firls` в системе Matlab. Порядок КИХ-фильтра 32, значения частот, нормированные к частоте Найквиста $f=[0 \ 0.2 \ 0.25 \ 1]$, вектор, содержащий значения амплитуд АЧХ $a=[1 \ 1 \ 0 \ 0]$

```

b=firls(32,f,a);
[h,w]=freqz(b);
plot(w/pi, abs(h))

```

8. Для передаточной функции найдите и постройте график частотной характеристики. Частота дискретизации 500 Гц:

$$H(z) = \frac{1 - 1,6180z^{-1} + z^{-2}}{1 - 1,5161z^{-1} + 0,878z^{-2}}$$

```

b=[1 -1,6180 1];
a=[1 -1,5161 0,878];
freqz(b,a,256,500)

```

9. Синтезируйте ФНЧ Баттерворта. Исходные данные: частота дискретизации $F_s=5$ кГц; граничная частота полосы пропускания $f_p = 1$ кГц; максимальное затухание в полосе пропускания $R_p = 3$ дБ; граничная частота полосы задерживания $f_s = 1$ кГц; минимальное затухание в полосе задерживания $R_s = 40$ дБ.

```
Fs=5000;  
fp=1000;  
fs=1500;  
Rp=3;  
Rs=40;  
[n,Wn]=buttord(2*fp/Fs,2*fs/Fs,Rp,Rs);  
[a,b]=butter(n,Wn);
```

10. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `remez` в системе Matlab. Порядок КИХ-фильтра 32, значения частот, нормированные к частоте Найквиста $f=[0 \ 0.2 \ 0.25 \ 1]$, вектор, содержащий значения амплитуд АЧХ $a=[1 \ 1 \ 0 \ 0]$

```
b=remez(32,f,a)
```

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `fircls` в системе Matlab. Порядок КИХ-фильтра 32, значения частот, нормированные к частоте Найквиста $f=[0 \ 0.225 \ 1]$, вектор, содержащий значения амплитуд АЧХ $a=[1 \ 0]$, минимальный коэффициент передачи $lo=[0.98 \ -0.02]$, максимальный коэффициент передачи $up=[1.02 \ 0.02]$.

```
f=[0 0.225 1];  
a=[1 0];  
up=[1.02 0.02];  
lo=[0.98 -0.02];  
b=fircls(32,f,a,up,lo);  
freqz(b);  
[h,w]=freqz(b);  
plot(w/pi, abs(h))
```

2. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 34 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `fircls` в системе Matlab. Точность представления входных отчетов 12 разрядов, точность представления коэффициентов 14 разрядов, определение максимальной и минимальной разрядности коэффициентов, вектор частот Low-PassFreqBand = $[0 \ 0.001045 \ 0.0015 \ 1]$ и вектор амплитуд LowPassMagnBand = $[1 \ 0.975 \ 0.00001 \ 0.00001]$;

```
FilterOrder = 34;  
InputBitWidth = 12;  
CoefBitWidth = 14;  
coef_max = 2^(CoefBitWidth - 1) - 1;  
coef_min = -2^(CoefBitWidth - 1);  
LowPassFreqBand = [0 0.001045 0.0015 1];  
LowPassMagnBand = [1 0.975 0.00001 0.00001];  
FlCoef_org = firls(FilterOrder,LowPassFreqBand,LowPassMagnBand);
```

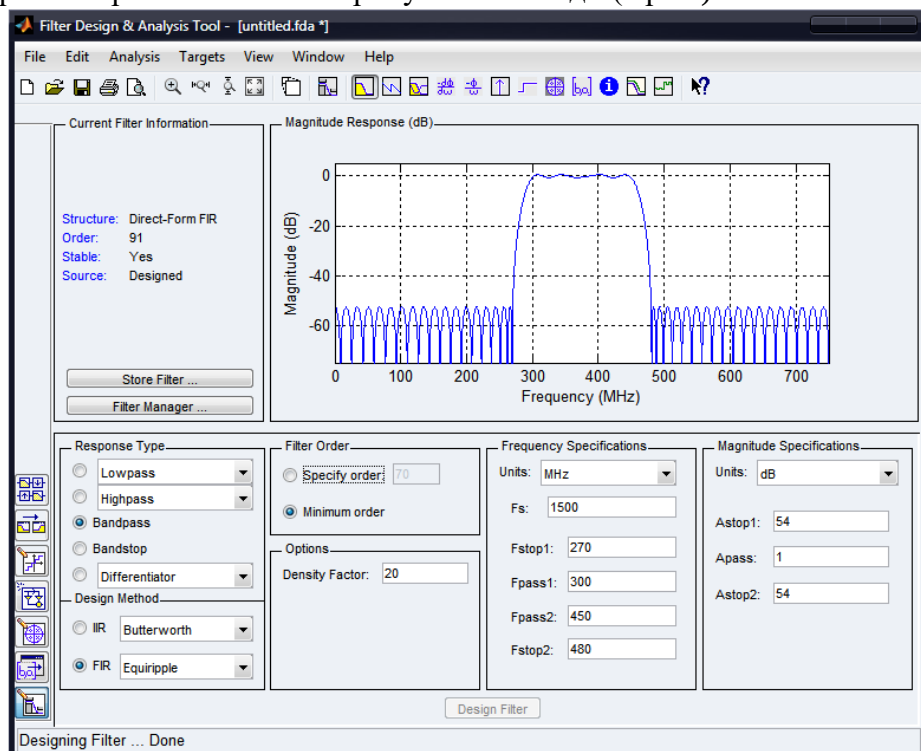
3. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 34 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `fircls` в системе Matlab с использованием n-точечного

окна Блэкмана с параметрами указанными в примере 3. Определите коэффициент масштабирования коэффициентов фильтра и представьте коэффициенты в формате с фиксированной запятой

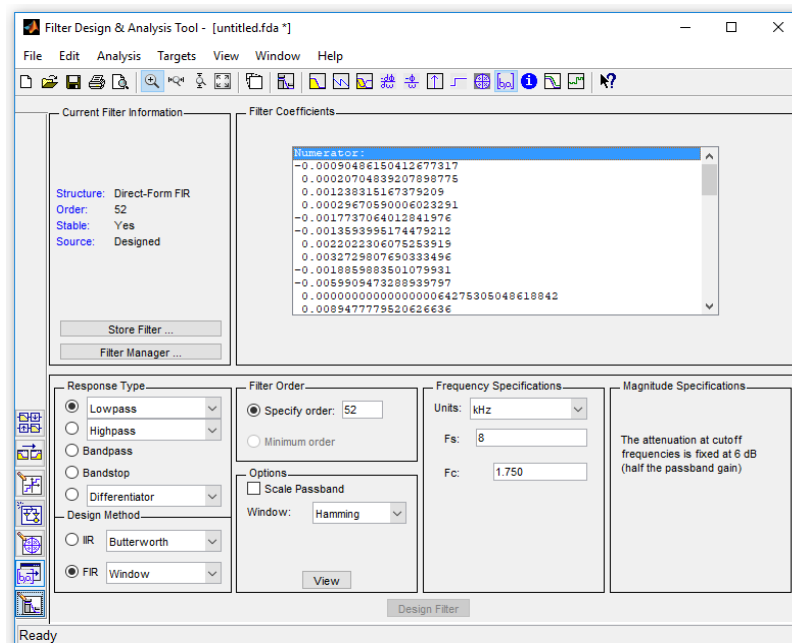
```
w=blackman(FilterOrder + 1);
FlCoef_win = FlCoef_org .* w';
FlCoef = FlCoef_win(2:34);
ScalingFactor = min(coef_max/max(FlCoef), coef_min/min(FlCoef));
FpCoef = fix(abs(ScalingFactor) * FlCoef);
```

4. С помощью метода Equiripple и среды FDATool вычислите коэффициенты полосового (bandpass) КИХ-фильтра, который удовлетворяет следующим спецификациям:

- Частота дискретизации (F_s) = 1.5 МГц
- F_{stop1} = 270 кГц
- F_{pass1} = 300 кГц
- F_{pass2} = 450 кГц
- F_{stop2} = 480 кГц
- неравномерность в полосе подавления = 54 дБ (A_{stop1} и A_{stop2})
- неравномерность в полосе пропускания = 1 дБ (A_{pass})

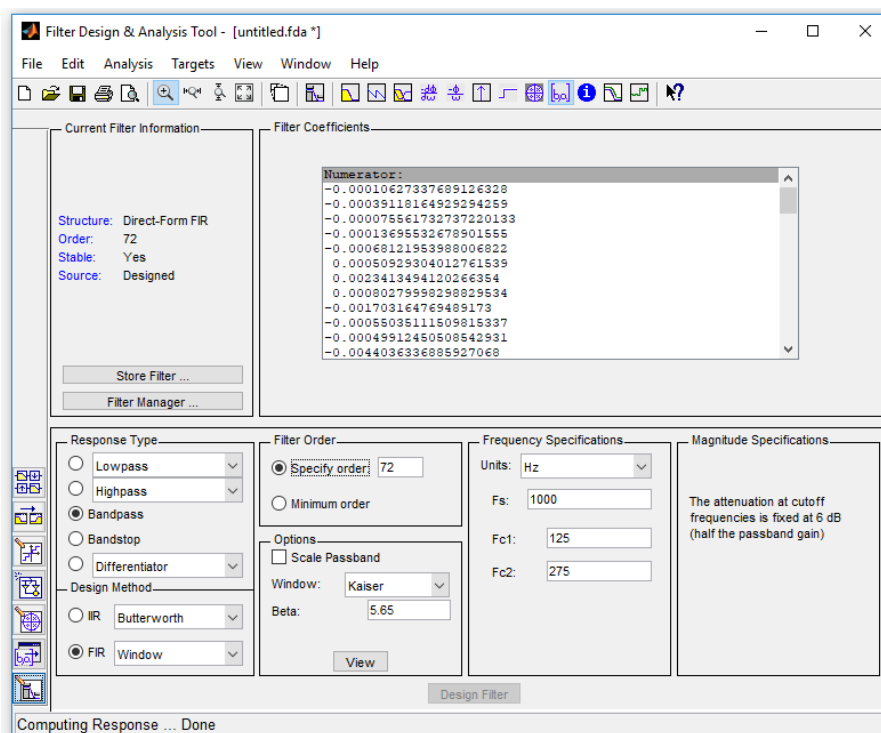


5. С помощью метода взвешивания и среды FDATool вычислите коэффициенты КИХ-фильтра НЧ, который удовлетворяет следующим спецификациям: граничная частота полосы пропускания 1.5 кГц, ширина переходной полосы 0.5 кГц, затухание в полосе подавления больше 50 дБ, частота дискретизации 8 кГц. Определите длину фильтра N , коэффициенты фильтра. Используйте функцию Хэмминга. Для учета эффекта смазывания характеристики фильтра, вводимого весовой функцией, используйте центр полосы перехода.



6. С помощью метода взвешивания и среды FDATool вычислите коэффициенты полосового (bandpass) КИХ-фильтра, который удовлетворяет следующим спецификациям: полоса пропускания 150-250 Гц, ширина полосы перехода 50 Гц, неравномерность в полосе пропускания 0,1 дБ, затухание в полосе подавления 60 дБ, частота дискретизации 1 кГц. Используйте функцию Кайзера.

Определите длину фильтра N, параметр неравномерности Beta, коэффициенты фильтра. Осуществите учет эффекта смазывания характеристики фильтра для определения Fc1 и Fc2.



7. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `firls` в системе Matlab. Точность представления входных отчетов 8 разрядов, вектор частот `LowPassFreqBand = [0 0.1 0.2 1]` и вектор амплитуд `LowPassMagnBand = [1 0.9 0.0001 0.0001]`

`FilterOrder = 32`

`InputBitWidth = 8`

`LowPassFreqBand = [0 0.1 0.2 1];`

```
LowPassMagnBand = [1 0.9 0.0001 0.0001];
FlCoef = firls(FilterOrder,LowPassFreqBand,LowPassMagnBand);
```

8. Разработайте тестбенч (испытательный стенд на языке VHDL) для моделирования импульсной характеристики КИХ-фильтра 4 отвода.

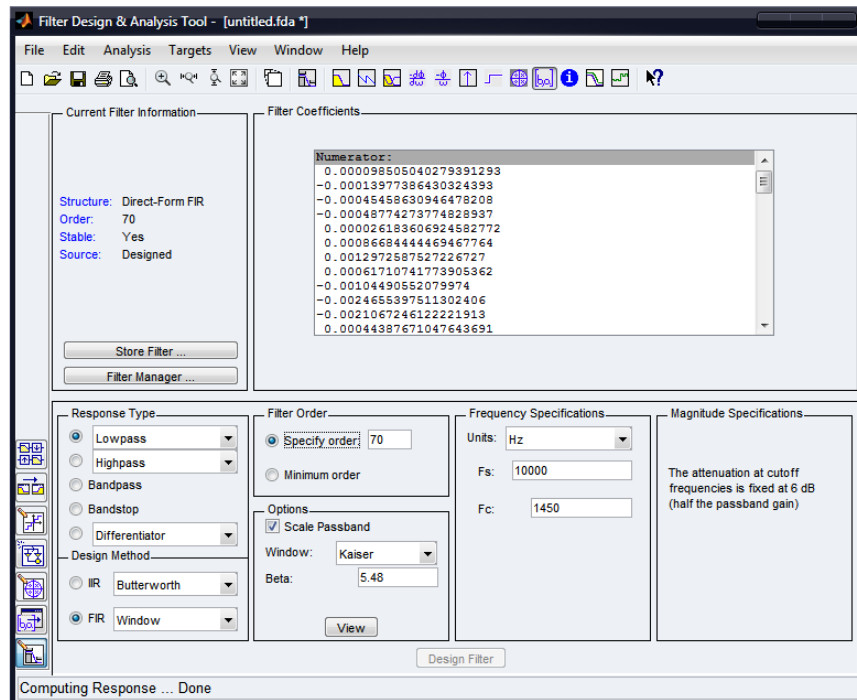
9. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `firls` в системе Matlab. Порядок КИХ-фильтра 32, точность представления входных отсчетов 8 бит, частотный диапазон полос $[0 \ 0.1 \ 0.2 \ 1]$, вектор, содержащий значения амплитуд АЧХ для частот вектора $[1 \ 0.9 \ 0.0001 \ 0.0001]$.

10. Рассчитайте коэффициенты КИХ-фильтра на 32 отвода с помощью функции (метод рядов Фурье со взвешиванием) `firl` с частотой среза нормированной к частоте Найквиста $F_s=3/8$ или 187 кГц/500 кГц.

11. С помощью функции дискретной фильтрации `filter(b,a,x)`, где $[-2,-1,7,6]$ вектор коэффициентов нерекурсивной части, 1 – вектор коэффициентов рекурсивной части, постройте имитационную модель в Simulink и определите значения профильтрованного сигнала $x=[-5,3,1,0,0,0]$ подаваемого на вход КИХ-фильтра

12. С помощью метода взвешивания и среды FDATool вычислите коэффициенты КИХ-фильтра, который удовлетворяет следующим спецификациям: ширина полосы перепада 500 Гц, неравномерность в полосе пропускания 0,1 дБ, затухание в полосе подавления 40 дБ, частота дискретизации 10 кГц. Используйте функцию Кайзера.

Определите длину фильтра N , параметр неравномерности $Beta$, коэффициенты фильтра. Осуществите учет эффекта смазывания характеристики фильтра для определения частоты среза F_c .



13. Спроектируйте параллельный КИХ-фильтр на 4 отвода $y = C_0x_0 + C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3$ в САПР ПЛИС Quartus II. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$. Используйте мегафункцию `ALTMULT_ACCUM`. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

14. Спроектируйте параллельный КИХ-фильтр на 4 отвода $y = C_0x_0 + C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3$ в САПР ПЛИС Quartus II. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$. Используйте мегафункцию `ALTMULT_ADD`. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

15. Спроектируйте параллельный КИХ-фильтр на 4 отвода $y = C_0x_0 + C_1x_1 + C_2x_2 + C_3x_3$ в САПР ПЛИС Quartus II версии 9.1. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$. Используйте мегафункцию ALTMEMMULT. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

16. Спроектируйте КИХ-фильтр на 4 отвода с использованием мегаядра FIR Compiler САПР ПЛИС Quartus II на параллельной распределенной арифметике. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$

17. Разработайте код языка VHDL КИХ-фильтра на 4 отвода с использованием оператора цикла loop. Напишите тестбенч для моделирования импульсной характеристики фильтра в ModelSim. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$.

18. Спроектируйте систолический КИХ-фильтр на 4 отвода в САПР ПЛИС Quartus II с однотипными процессорными элементами. Коэффициенты фильтра целочисленные со знаком, $C_0 = -2$, $C_1 = -1$, $C_2 = 7$ и $C_3 = 6$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Преобразование аналогового сигнала в цифровой.
2. Ключевые операции ЦОС. Дискретизация сигналов.
3. Квантование, кодирование. Выборка с запасом по частоте.
4. Дискретные преобразования. Z-преобразования.
5. Корреляция и свертка.
6. Вычислительные архитектуры обработки сигналов.
7. Универсальные процессоры ЦОС.
8. Процессоры ЦОС с фиксированной запятой.
9. Процессоры ЦОС с плавающей запятой.
10. Реализация алгоритмов ЦОС на универсальных процессорах.
11. Специализируемая аппаратура ЦОС.
12. Методы проектирования аналоговых и цифровых фильтров. Метод взвешивания.
13. Оптимизационные методы проектирования аналоговых и цифровых фильтров.
14. Метод частотной выборки.
15. Структуры цифровых фильтров в базисе ПЛИС.
16. Проектирование систолических КИХ-фильтров в базисе ПЛИС.
17. Генератор параметризованных ядер XLogiCORE IP.
18. Функции FIR Compiler v6.3 САПР ПЛИС Xilinx ISE для проектирования систолических КИХ-фильтров.
19. Последовательная распределенная арифметика.
20. Параллельная распределенная арифметика.
21. Особенности распределенной арифметики для реализации в базисе ПЛИС.
22. Расчет параметров фильтров с использованием среды FDATool.
23. Системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink.
24. Состав библиотеки DSP Xilinx blockset.
25. Графическая среда для синтеза и анализа фильтров FDATool.
26. Система Xilinx System Generator САПР ISE Design Suite.
27. Создание проектов КИХ-фильтров в САПР ISE Design Suite.
28. Система визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink с использованием Altera DSP Builder.
29. Создание проектов КИХ-фильтров в САПР QUARTUS II.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов — 4.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 4 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Преобразование аналогового сигнала в цифровой	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
2	Универсальные и специализированные процессоры ЦОС	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
3	Методы проектирования аналоговых и цифровых фильтров	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
4	Структуры цифровых фильтров в базисе ПЛИС	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
5	Проектирование систолических КИХ-фильтров в базисе ПЛИС	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
6	Проектирование КИХ-фильтров на распределенной арифметике в базисе ПЛИС	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ.
7	Расчет параметров фильтров с использованием среды FDATool системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
8	Использование системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink для проектирования цифровых фильтров в САПР ISE Design Suite	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ
9	Использование системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink для проектирования цифровых фильтров в САПР QUARTUS II	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на

бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, со-ставители	Заглавие	Вид и год издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
1	Мартюшев Ю.Ю.	Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике. — М.: Горячая линия - Телеком, 2014. — 372 с.	Учеб. для вузов, 2014	0.3
2	Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьева Е.Б.	Основы цифровой обработки сигналов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 437 с.	Учеб. для вузов, 2005	0.5
3	Соловьев В.В.	Проектирование цифровых систем на основе ПЛИС. — М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 358 с.	Учеб. для вузов, 2007	0.4
4	Грушевицкий Р., Мурсаев А., Угрюмов Е.	Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 419 с.	Учеб. для вузов, 2006	0.1
5	Амосов В.В.	Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств. — СПб.: БХВ-Петербург, 2007. — 296 с.	Учеб. для вузов, 2007	0.1
6	Тарасов И.Е., Потехин И.Е.	Разработка систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС. — М.: Горячая линия – Телеком, 2007. — 354 с.	Учеб. для вузов, 2007	0.4
7.1.2. Дополнительная литература				
1	Строгонов А.В.	Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем. — СПб.: «Лань», 2019. — 352 с.	Учеб. для вузов, 2019	1
2	Строгонов А.В.	Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем. — СПб.: «Лань», 2018. — 312 с.	Учеб. для вузов, 2018	1
3	Строгонов А.В.	Проектирование устройств цифровой обработки сигналов для реализации в	Учеб. для вузов,	1

		базисе программируемых логических интегральных схем. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2013. — 323 с.	2013	
4	Строгонов А.В.	Системное проектирование программируемых логических интегральных схем. — Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2012. — 322 с.	Учеб. для вузов, 2012	1
7.1.3. Методические разработки				
1	Строгонов А.В.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 по дисциплине «Проектирование цифровых устройств в базисе ПЛИС». Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2014. 57 с	Метод. указ., 2014	1

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

САПР ПЛИС Altera Quartus II+ Altera DSP Builder

САПР ПЛИС Xilinx ISE+ Xilinx System Generator

Системы цифрового моделирования ModelSim-Altera

Система визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink

www.labfor.ru Лаборатории электронных средств обучения, ЛЭСО ГОУ ВПО «СибГУТИ»

www.asic.ru НПК "Технологический центр"

www.tcen.ru НПК "Технологический центр"

www.e-kir.ru Электронные версии журнала «Компоненты и технология»

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Учебный лабораторный стенд на ПЛИС структуры FPGA - **LESO2**.

2. Учебный стенд **LESO7** предназначен для изучения цифровой обработки сигналов. Конструктивно стенд выполнен в виде печатной платы в прозрачном корпусе из органического стекла. Большинство компонентов расположены с верхней стороны и доступно обзору. Стенд подключается к персональному компьютеру (ПК) или ноутбуку через разъем USB.

На плате расположена программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) с набором аналоговой периферии: аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Ввод и вывод аналогового сигнала осуществляется через разъемы типа BNC.

В основе стенда ПЛИС FPGA Cyclone IV. На плате установлен высокоскоростной двуканальный USB конвертор FT2232RL. Один канал использован для конфигурации ПЛИС, другой предназначен для высокоскоростного обмена данными между компьютером и стендом. Питание платы осуществляет-

ся от USB.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Цифровая обработка сигналов» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесе- ния измене- ний	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			