

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

 УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
/ В.А. Небольсин /
31 августа 2021 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 2021

Автор программы

 _____ А.В. Строгонов

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники

 _____ А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

 _____ А.А. Винокуров

Воронеж 2021

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: знать базовые основы 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 Б1.В.12 «Цифровая обработка сигналов» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ПК-2: способен проектировать электрические схемы обработки сигналов (аналоговых и цифровых);

ПК-3: способен применять методы и компьютерные системы моделирования и анализа компонентов микросистемной техники;

ПК-5: способен пользоваться встроенными средствами программирования и отладки системы автоматизированного проектирования;

ПК-7: способен осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать методы обработки цифровых сигналов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров; основные структуры цифровых фильтров;
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;
	владеть приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования цифровых фильтров в базе ПЛИС.
ПК-3	знать теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой;
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы

	Matlab для расчета параметров цифровых фильтров; владеть навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink.
ПК-5	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);
	уметь 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);
	владеть навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE (Vivado).
ПК-7	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);
	уметь строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мега-функций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE;
	владеть навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE (Vivado).

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Цифровая обработка сигналов» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	58	58
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	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	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой код	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 ЦОС.	4	-	6	10
3	Методы проектирования цифровых фильтров	Метод взвешивания, оптимизационные методы, метод частотной выборки	4	-	6	10
4	Структуры цифровых фильтров в базе ПЛИС	Прямая структура, прямая каноническая структура 1, каноническая структура 2, каноническая структура 3, каскадная структура, параллельная структура	4		6	10
5	Проектирование систолических КИХ-фильтров в базе ПЛИС	Генератор параметризованных ядер XLogiCORE IP и функции FIR Compiler v6.3 САПР ПЛИС Xilinx ISE для проектирования систолических КИХ-фильтров	4	4	6	14
6	Проектирование КИХ-фильтров на последовательной распределенной арифметике в базе ПЛИС	Особенности использования последовательной распределенной арифметики для реализации в базе ПЛИС	4	4	6	14
7	Проектирование КИХ-фильтров на параллельной распределенной арифметике в базе ПЛИС	Особенности использования параллельной распределенной арифметики для реализации в базе ПЛИС	4	4	6	14
8	Расчет параметров фильтров с использованием среды FDATATool системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink	Совместное использование библиотеки DSP Xilinx blockset и графической среды для синтеза и анализа фильтров FDATATool	2	4	6	12
9	Проектирования цифровых фильтров в САПР ISE DESIGN SUITE с применением среды System Generator	Система Xilinx System Generator САПР ISE Design Suite. Создание проектов КИХ-фильтров.	2	-	5	7
10	Проектирования цифровых фильтров в САПР QUARTUS II с применением среды Altera DSP Builder	Система визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink с использованием Altera DSP Builder. Создание проектов КИХ-фильтров	2	-	5	7
Итого			34	16	58	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Проектирование систолических КИХ-фильтров в базе ПЛИС с использованием генератора параметризованных ядер XLogiCORE IP и функции FIR Compiler v6.3.

2. Разработка имитационных моделей КИХ-фильтров на последовательной и параллельной распределенной арифметике в системе Matlab/Simulink с применением Altera DSP Builder и САПР Quartus II.

3. Проектирование последовательных КИХ-фильтров со структурой MAC-блоков в системе визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink и пакета расширения Altera DSP Builder САПР Quartus II.

4. Проектирование последовательных КИХ-фильтров со структурой MAC-блоков в системе визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink и пакета расширения Xilinx System Generator САПР ISE Design Suite.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Цифровая обработка сигналов» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

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
ПК-2	знать методы обработки цифровых сигналов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров; основные структуры цифровых фильтров;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования цифровых фильтров в базе ПЛИС.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-3	знать теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink.	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ПК-5	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь 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);	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE (Vivado).	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-7	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мега-функций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE;	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками работы с САПР ПЛИС Altera Quartus II или Xilinx ISE (Vivado).	Сдана теория, выполнены лабораторные работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

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
ПК-2	знать методы обработки цифровых сигналов; методы расчета аналоговых цифровых фильтров; основные структуры цифровых фильтров;	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть приложением по извлечению кода языка VHDL из моделей устройств цифровой обработки сигналов; навыками проектирования цифровых фильтров в базе ПЛИС.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать теорию цифровых кодов; форматы представления чисел с фиксированной и плавающей запятой;	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь работать с пакетом Signal Processing среды FDATATool системы Matlab для расчета параметров цифровых фильтров;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками работы с системой визуально-имитационного моделирования Matlab /Simulink.	Решение прикладных задач в конкретной предмет-	Продемонстрирован верный ход решения в больш-	Задачи не решены

		ной области	шинстве задач	
ПК-5	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь 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);	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть 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
ПК-7	знать основные узлы вычислительных устройств цифровой обработки сигналов; основы высокоуровневого языка описания аппаратных средств (VHDL);	Тест	Выполнение теста на 70-100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь строить функциональные модели цифровых устройств обработки сигналов с применением языка VHDL и мега-функций в САПР ПЛИС Altera Quartus II и Xilinx ISE;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть 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

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

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

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

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.

$W_p = 40/500$; $W_s = 150/500$;

`[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
<code>x = [1 3 2]; h = [1 2 3 4]; y= conv(x,h)</code>	<code>x = [1 3 2]; h = [1 2 3 4]; y= con(x,h)</code>	<code>x = [1 3 2]; h = [1 2 3 4]; y= fir1(x,h)</code>	<code>x = [1 3 2]; h = [1 2 3 4]; y= filter(x,h)</code>

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
<code>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');</code>	<code>ft=1000; fk=1500; Wp=2.*pi.*ft; Ws=2.*pi.*fk; rp=0.4455; rs=40; [R4,Wn4]=ellipord(Wp,Ws, rp,rs,'s'); [bs4,as4]=ellip(R4,rp,rs,Wn 4, 's');</code>	<code>ft=1000; fk=1500; Wp=2.*pi.*ft; Ws=2.*pi.*fk; rp=0.4455; rs=40; [R3,Wn3]=cheb2ord(Wp,Ws, rp,rs,'s'); [bs3,as3]=cheby2(R3,rs,Wn3 , 's');</code>

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. Задаются сетка частот (1000 точек). Основная полоса частот $[0; F_s/2]$.

1	<code>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]);</code>
2	<code>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]);</code>
3	<code>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])</code>

9. 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. Задаются сетка частот (1000 точек). Основная полоса частот $[0; F_s/2]$.

1	<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; [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]); </pre>
2	<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]=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. 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 мега-функцию ALTMULT_ACCUM. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

2. 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 мега-функцию ALTMULT_ADD. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

3. 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 мега-функцию ALTMEMMULT. Для отладки проекта используйте учебно-лабораторный стенд LESO2.1.

4. Спроектируйте КИХ-фильтр на 4 отвода с использованием мега-ядра 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 $C_3 = 6$

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

6. 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. Разработайте тест-бенч (испытательный стенд на языке VHDL) для моделирования импульсной характеристики КИХ-фильтра 4 отвода.

8. 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 $[1 \ 0.9 \ 0.0001 \ 0.0001]$.

9. Рассчитайте коэффициенты КИХ-фильтра на 32 отвода с помощью функции (метод рядов Фурье со взвешиванием) `fir1` с частотой среза нормированной к частоте Найквиста $F_c = 3/8$ или 187 кГц/500 кГц.

10. 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.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных 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. Синтезируйте нерекурсивный дискретный КИХ-фильтр на 32 отвода фильтра с линейной ФЧХ с помощью функции `remez` в системе Matlab. Порядок КИХ-фильтра 32, значе-

ния 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)
```

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 `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 $l_o = [0.98 \ -0.02]$, максимальный коэффициент передачи $u_p = [1.02 \ 0.02]$.

```
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))
```

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 вопросов 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.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой код	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
2	Универсальные и специализированные процессоры ЦОС	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
3	Методы проектирования цифровых фильтров	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
4	Структуры цифровых фильтров в базисе ПЛИС	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос

5	Проектирование систолических КИХ-фильтров в базе ПЛИС	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
6	Проектирование КИХ-фильтров на последовательной распределенной арифметике в базе ПЛИС	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
7	Проектирование КИХ-фильтров на параллельной распределенной арифметике в базе ПЛИС	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
8	Расчет параметров фильтров с использованием среды FDA Tool системы визуально-имитационного моделирования Matlab/Simulink	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
9	Проектирование цифровых фильтров в САПР ISE DESIGN SUITE с применением среды System Generator	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос
10	Проектирование цифровых фильтров в САПР QUARTUS II с применением среды Altera DSP Builder	ПК-2, ПК-3, ПК-5, ПК-7	Тест, зачет, устный опрос

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

Основная литература

1. **Строгонов А.В.** Цифровая обработка сигналов в базе программируемых логических интегральных схем [Электронный ресурс] / А.В. Строгонов. - 3-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2021. - 312 с. - ISBN 978-5-8114-1981-4. URL: <https://e.lanbook.com/book/169152>

2. **Оппенгейм А.** Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. - 3-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2012. - 1048 с. - (Мир радиоэлектроники). - ISBN 978-5-94836-329-5

3. **Оппенгейм А.** Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / А. Оппенгейм, Р. Шафер; пер. с англ. С.Ф. Боева. - 3-е изд., испр. - М.: Техносфера, 2012. - 1048 с. - ISBN 978-5-94836-329-5. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233730>

4. **Гадзиковский В.И.** Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс] / В.И. Гадзиковский. - М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2017. - 766 с. - ISBN 978-5-91359-117-3. URL: <http://www.iprbookshop.ru/90342.html>

5. **Строгонов А.В.** Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Строгонов. - Электрон. текстовые, граф. дан. (34,3 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2015. - 310 с.

6. **Строгонов А.В.** Основы цифровой обработки сигналов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.В. Строгонов. - Электрон. текстовые, граф. дан. (58 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2014.

Дополнительная литература

7. **Строгонов А.В.** Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем: учеб. пособие / А.В. Строгонов. - 3-е изд., стереотип. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2018. - 309 с.

8. **Строгонов А.В.** Реализация алгоритмов цифровой обработки сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем: учеб. пособие / А.В. Строгонов - 4-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2019. - 352 с.

9. **Строгонов А.В.** Цифровая обработка сигналов в базисе программируемых логических интегральных схем: учеб. пособие / А.В. Строгонов. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2015. - 310 с.

10. **Тарасов И.Е.** Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 252 с. - ISBN 5-93517-242-9

11. **Угрюмов Е.П.** Цифровая схемотехника: учеб. пособие / Е.П. Угрюмов.- 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007. - 800 с. - ISBN 978-5-94157-397-4

12. **Хафизов Д.Г.** Цифровая обработка сигналов [Электронный ресурс]: лабораторный практикум. 1 / Д.Г. Хафизов, Р.Г. Хафизов, С.А. Охотников; Поволжский государственный технологический университет. - Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. - 72 с. - ISBN 978-5-8158-2003-6. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=494308>

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

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;

- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>
- Лаборатории электронных средств обучения, ЛЭСО ГОУ ВПО «СибГУТИ» www.labfor.ru

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 205/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
 проектор BenQ MP515 DLP;
 экран ScreenMedia настенный.
 огнетушитель.

2. Лаборатория автоматизации технологических процессов для проведения практических занятий и самостоятельной работы студентов, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 216/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 15 человек.
 учебно-лабораторный стенд LESO2 (10 штук);
 компьютер в составе: системный блок iRU Ergo Corp 1294, клавиатура, мышь, монитор 19"LCD – 10 шт.
 огнетушитель.

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 от-

ражения в учебной литературе.

Лабораторные работы выполняются на персональных компьютерах в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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.
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: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none">- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;- 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 внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			
4			