

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ  
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Институт физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики,  
профессор

С.Б. Вениг

2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Основы цифровой обработки сигналов»**

Направление подготовки  
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Профиль подготовки  
«Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур»

Квалификация (степень) выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

Саратов,  
2021

Статус	ФИО	Подпись	Дата
Преподаватель-разработчик	<i>Метин А.В.</i>	<i>[Подпись]</i>	17.09.2021
Председатель НМК	Скрипаль Ан.В.	<i>[Подпись]</i>	22.09.2021
Заведующий кафедрой	Михайлов А.И.	<i>[Подпись]</i>	20.09.2021
Специалист Учебно-го управления			

## 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Основы цифровой обработки сигналов» является формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений (владений) способами описания аналоговых, дискретных и цифровых сигналов и систем, применяемых в современных электронных устройствах.

Задачами освоения дисциплины являются:

- формирование и углубление знаний об основных способах описания и анализа аналоговых, дискретных и цифровых сигналов и систем во временной, частотной,  $p$ - и  $z$ -областях, включая дискретное и быстрое преобразование Фурье;
- формирование умений учитывать современные методы цифровой обработки сигналов в своей профессиональной деятельности;
- овладение основными элементами математического аппарата дискретного преобразования Фурье и некоторыми важнейшими приемами ускорения вычислительного процесса в алгоритмах быстрого преобразования Фурье.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Основы цифровой обработки сигналов» относится к обязательной части, формируемой участниками образовательных отношений, блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП бакалавриата, изучается студентами дневного отделения факультета nano- и биомедицинских технологий СГУ, обучающимися по направлению подготовки бакалавров 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» и профилю «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур», в течение 4 учебного семестра. Материал дисциплины опирается на ранее приобретенные студентами знания, умения и навыки, полученные в процессе освоения дисциплин: «Электричество и магнетизм», «Математический анализ и ТФКП», «Введение в информационные технологии» и подготавливает студентов к изучению в том же и следующем семестрах дисциплин «ЭВМ в физическом практикуме», «Компьютер в физической лаборатории», «Основы аналоговой и цифровой электроники», а также к выполнению курсовых и выпускной квалификационной работ.

## 3. Результаты обучения по дисциплине

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-1 Способен проводить математическую обработку результатов измерений с учетом аппаратных характеристик и условий измерений по данным протоколов измерений и вносить информацию в базы данных	1.1_Б. ПК-1. Способен обрабатывать результаты измерений в соответствии с калибровочными параметрами аппаратуры и условиями измерений	<b><u>Знать:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ основные способы анализа аналоговых и дискретных линейных систем, их важнейшие параметры и характеристики;</li></ul> <b><u>Уметь:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ анализировать преобразование сигнала в аналоговых и дискретных линейных системах;</li></ul> <b><u>Владеть:</u></b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ приемами математического описания аналоговых и дискретных линейных систем во временной, частотной, комплексных</li></ul>

		р- и z-областях;
<b>ПК-3</b> Способен аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику теоретического и экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения	<b>1.1_Б. ПК-3.</b> Аргументированно применяет методики проведения теоретических и экспериментальных исследований параметров и характеристик узлов и блоков установок электроники и нанoeлектроники <b>3.1_Б. ПК-3.</b> Обрабатывает и анализирует результаты теоретических и экспериментальных исследований, определяет элементы новизны в разработке	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>основные способы описания аналоговых, дискретных и цифровых сигналов;</li> </ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>учитывать современные методы цифровой обработки сигналов при обработке и анализе результатов исследований;</li> </ul> <b>Владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>математическим аппаратом анализа аналоговых и дискретных сигналов и линейных систем во временной, частотной, комплексных р- и z-областях.</li> </ul>

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					СРС	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
			Лек	Лаб		Пр			
				Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка	Общая трудоемкость	Из них – практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Основы анализа сигналов	4	1			1			
2.	Спектральное представление периодических сигналов	4	1			1		2	
3.	Спектральное представление непериодических сигналов	4	1			1		2	
4.	Корреляционный анализ	4	1			1		2	
5.	Преобразование Гильберта	4	1			1		2	
6.	Преобразование Лапласа	4	1			1		2	
7.	Аналоговые системы	4	1			1		2	
8	Введение в цифровую обработку сигналов (ЦОС)	4	1			1		2	
9	Дискретные сигналы	4	1			1		2	
10	Математический аппарат описания сигналов и линейных систем (обобщение)	4	2			2		6	Контрольная работа
11	Z-преобразование	4	1			1		2	
12	Дискретное преобразование Фурье (ДПФ)	4	2			2		8	
13	Быстрое преобразование Фурье (БПФ)	4	2			2		8	Реферат
	<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>4</b>							<b>Зачет, контрольная работа</b>

№ п/п	Раздел дисциплины	Се- местр	Виды учебной работы, включая самостоя- тельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					СРС	Формы текуще- го контроля успеваемости (по неделям се- местра) Формы проме- жуточной атте- стации (по се- местрам)
			Лек	Лаб		Пр			
				Об- щая тру- до- ем- кость	Из- них – прак- тиче- ская под- го- товка	Об- щая тру- до- ем- кость	Из- них – прак- тиче- ская под- го- товка		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									та, реферат
	<b>Всего:</b>	<b>4</b>	<b>16</b>			<b>16</b>		<b>40</b>	
	<b>Итого:</b>	<b>4</b>	<b>16</b>			<b>16</b>		<b>40</b>	
	<b>Общая трудоемкость дисци- плины</b>			<b>72</b>					

### Содержание дисциплины

1. **ОСНОВЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ.** Цель анализа, основные составляющие. Классификация сигналов: детерминированные и случайные сигналы, сигналы с интегрируемым квадратом (с ограниченной энергией), периодические сигналы и сигналы конечной длительности, гармонические колебания, дельта-функция (функция Дирака), функция единичного скачка (функция включения, или функция Хевисайда). Энергия и мощность сигнала.
2. **СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.** Математическая постановка проблемы: спектральное разложение в базисе ортонормированных функций (обобщенный ряд Фурье). Спектральное разложение в базисе гармонических функций (ряд Фурье): синусно-косинусная (тригонометрическая) форма, вещественная (амплитудно-фазовая) форма, комплексная форма. Примеры разложения периодических сигналов в ряд Фурье: спектр последовательности прямоугольных видеоимпульсов (центрированная, задержанная последовательности, меандр), пилообразный сигнал, последовательность треугольных импульсов.
3. **СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ.** Интегральное преобразование Фурье. Переход от ряда Фурье к интегралу Фурье. Спектральная функция (спектральная плотность) сигнала. Прямое и обратное преобразование Фурье. Принцип дуальности времени и частоты. Равенство Парсеваля, понятие энергетического спектра сигнала. Спектральные плотности избранных интегрируемых сигналов: экспоненциальный видеоимпульс, гауссов импульс, дельта-функция Дирака, прямоугольный видеоимпульс (центрированный и задержанный во времени), «иерархия» спектральных функций видеоимпульсов. Связь длительности сигнала и ширины его спектра. Соотношение неопределенности, база сигнала, простые и сложные сигналы. Свойства преобразования Фурье (основные свойства спектров и теоремы о спектрах). Фурье-анализ неинтегрируемых сигналов: постоянный во времени сигнал, функция единичного скачка, гармонический сигнал, комплексная экспонента, произвольный периодический сигнал.
4. **КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ.** Понятия корреляционной (автокорреляционной) функции (АКФ) и взаимной корреляционной функции (ВКФ), их свойства. АКФ прямоугольного импульса. ВКФ прямоугольного и треугольного импульсов. Связь между корреляционными функциями и спектрами сигналов, энергетические расчеты в спектральной области (теорема Релея, равенство Парсеваля).
5. **КОМПЛЕКСНАЯ ОГИБАЮЩАЯ,** амплитудная огибающая, фазовая функция, полная фаза сигнала. Преобразование Гильберта. Понятие сопряженного сигнала

(квадратурного дополнения). Спектр аналитического сигнала, спектр комплексной огибающей.

6. **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА.** Прямое и обратное преобразование Лапласа. Абсцисса сходимости.  $L$ -изображения распространенных функций. Основные свойства преобразований Лапласа. Определение оригиналов по изображениям в виде дробно-рациональных функций. Теорема разложения Хевисайда. Восстановление оригиналов  $L$ -изображений с простыми полюсами.
7. **АНАЛОГОВЫЕ СИСТЕМЫ.** Классификация систем (линейные, нелинейные, стационарные, нестационарные). Характеристики линейных систем. Импульсная характеристика. Переходная характеристика. Связь между ними. Комплексный коэффициент передачи.
8. **ВВЕДЕНИЕ В ЦОС.** Обобщенная схема цифровой обработки сигналов. Кодер, устройство ЦОС, декодер. Аналого-цифровое преобразование. Дискретизация по времени. Квантование по уровню. Цифро-аналоговое преобразование. Основные типы сигналов и их математическое описание. Нормирование времени. Типовые дискретные сигналы (цифровой единичный импульс, цифровой единичный скачок, дискретная экспонента, дискретный гармонический сигнал, дискретный комплексный гармонический сигнал). Основная полоса частот. Нормирование частоты.
9. **ДИСКРЕТНЫЕ СИГНАЛЫ.** Частота Найквиста. Спектр дискретного сигнала. Появление ложных частот (элайсинг). Влияние формы дискретизирующих импульсов на спектральную функцию сигнала. Теорема Котельникова. Базис Котельникова.
10. **МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОПИСАНИЯ СИГНАЛОВ И ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ (ОБОБЩЕНИЕ).** Математическое описание аналоговых сигналов и линейных систем в  $p$ - и частотной областях. Преобразование Лапласа. Преобразование Фурье. Связь преобразования Фурье с преобразованием Лапласа. Ряд Фурье. Математическое описание дискретных сигналов и линейных систем в  $z$ - и частотной областях. Дискретное преобразование Лапласа.  $Z$ -преобразование. Связь  $Z$ -преобразования с дискретным преобразованием Лапласа. Преобразование Фурье. Связь преобразования Фурье с  $Z$ -преобразованием.
11.  **$Z$ -ПРЕОБРАЗОВАНИЕ.**  $Z$ -преобразование последовательности. Примеры вычисления  $Z$ -преобразования типовых дискретных сигналов (единичная импульсная функция, единичный скачок, дискретная экспонента, дискретная затухающая синусоида). Область сходимости  $z$ -изображения (радиус сходимости). Соотношение между  $p$ - и  $z$ -плоскостями. Отображение  $p$ -плоскости на  $z$ -плоскость. Основные свойства  $Z$ -преобразования. Обратное  $Z$ -преобразование.
12. **ДИСКРЕТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ (ДПФ).** Спектр дискретного сигнала конечной длительности. ДПФ периодической последовательности. Дискретный ряд Фурье для последовательности во временной области. Дискретные коэффициенты Фурье. Дискретный ряд Фурье для последовательности в частотной области. Обратное преобразование (ОДПФ). ДПФ конечной последовательности.
13. **БЫСТРОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ (БПФ).** Понятие спектрального анализа. Оценка вычислительной сложности алгоритма ДПФ. Алгоритм БПФ с основанием 2 с прореживанием по времени. Направленный граф базовой операции алгоритма БПФ с прореживанием по времени (бабочка).

## 5. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины

При реализации различных видов учебной работы (лекционные занятия, практические занятия (семинары), самостоятельная работа) используются следующие современные образовательные технологии:

- информационно-коммуникационные технологии;
- проблемное обучение;
- дискуссии.

Лекционные занятия проводятся в основном в традиционной форме. При проведении части лекционных и семинарских (практических) занятий используется ПК и мультимедийный проектор.

При проведении семинарских (практических) занятий в активной дискуссионной форме проводится детальный анализ вопросов математического описания аналоговых, дискретных и цифровых сигналов и систем во временной, частотной и  $Z$ -областях, включая дискретное и быстрое преобразование Фурье в соответствии с приведенным ниже списком тем (по выбору преподавателя).

### **План практических занятий (семинаров)**

Тема №1. «Спектральное представление периодических сигналов».

1. Спектр последовательности прямоугольных видеоимпульсов (центрированная, задержанная последовательности, меандр),
2. Спектр пилообразного сигнала.
3. Спектр последовательности треугольных импульсов.

Тема №2. «Спектральное представление непериодических сигналов».

1. Спектральная плотность экспоненциального видеоимпульса.
2. Спектральная плотность гауссова импульса.
3. Спектральная плотность дельта-функции Дирака.
4. Спектральная плотность прямоугольного видеоимпульса (центрированный и задержанный во времени).
5. «Иерархия» спектральных функций видеоимпульсов. Связь длительности сигнала и ширины его спектра. Соотношение неопределенности, база сигнала, простые и сложные сигналы.

Тема №3. «Фурье-анализ неинтегрируемых сигналов».

1. Постоянный во времени сигнал.
2. Функция единичного скачка.
3. Гармонический сигнал.
4. Комплексная экспонента.
5. Произвольный периодический сигнал.

Тема №4. «Основы корреляционного анализа».

1. АКФ прямоугольного импульса.
2. ВКФ прямоугольного и треугольного импульсов.
3. Энергетические расчеты в спектральной области (теорема Релея, равенство Парсеваля).

Тема №5. «Преобразование Лапласа».

1. Определение оригиналов по изображениям в виде дробно-рациональных функций.
2. Теорема разложения Хевисайда.
3. Восстановление оригиналов  $L$ -изображений с простыми полюсами.

Тема №6. «Характеристики аналоговых линейных систем».

1. Импульсная характеристика.
2. Переходная характеристика. Связь с импульсной характеристикой.
3. Комплексный коэффициент передачи.

Тема №7. «Введение в цифровую обработку сигналов».

1. Нормирование времени.
2. Типовые дискретные сигналы.
3. Основная полоса частот.

#### 4. Нормирование частоты.

Тема №8. «Дискретные сигналы».

1. Влияние формы дискретизирующих импульсов на спектральную функцию сигнала..
2. Базис Котельникова.

Тема №9. «Математическое описание дискретных сигналов и линейных систем в  $z$ - и частотной областях».

1. Дискретное преобразование Лапласа.
2.  $Z$ -преобразование и его связь с дискретным преобразованием Лапласа.
3. Преобразование Фурье и его связь с  $Z$ -преобразованием.

Тема №10. « $Z$ -преобразование».

1.  $Z$ -преобразование типовых дискретных сигналов.
2. Обратное  $Z$ -преобразование.

Тема №11. «Дискретное преобразование Фурье».

1. ДПФ периодической последовательности.
2. ДПФ конечной последовательности.

Тема №12. «Быстрое преобразование Фурье».

3. Оценка вычислительной сложности алгоритма ДПФ.
4. Алгоритм БПФ с основанием 2 с прореживанием по времени.

Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическим (семинарским) занятиям приведен в разделе 8 рабочей программы и приложении.

Самостоятельная внеаудиторная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего учебного семестра и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и практическим (семинарским) занятиям, в выполнении заданий преподавателя, работе в компьютерном классе или библиотеке, подготовке реферата.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 50 % аудиторных занятий. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 50 % аудиторных занятий.

#### **Условия обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья:**

- организация коллективных занятий в студенческих группах с целью оказания помощи в получении информации инвалидам и лицам с ограниченными возможностями по здоровью;
- проведение индивидуальных коррекционных консультаций для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- использование индивидуальных графиков обучения и индивидуальных консультаций;
- использование дистанционных образовательных технологий.

#### **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

##### **Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Самостоятельная работа студентов по дисциплине проводится в течение всего периода изучения и заключается в чтении и изучении литературы, подготовке к лекциям и семинарским (практическим) занятиям, к контрольной работе, подготовке реферата, в выполнении заданий лектора.

Рекомендуется:

- для качественного усвоения материала лекций разбирать вопросы, изложенные в каждой очередной лекции, до следующей, по непонятым деталям консультироваться у лектора, читать соответствующую литературу;

- при подготовке к семинарским занятиям пользоваться рекомендациями преподавателя, ведущего семинары, готовить краткий конспект по вопросам темы, изучать рекомендуемую литературу;

- при подготовке к контрольной работе пользоваться конспектами лекций и рекомендованной литературой;

- при подготовке реферата пользоваться рекомендованной литературой;

Перечень заданий самостоятельной работы, предлагаемых студентам в ходе чтения лекций:

- Примеры разложения периодических сигналов в Ряд Фурье;
- Спектральные плотности избранных интегрируемых сигналов;
- Разложение  $Z$ -преобразования на простые дроби;
- Направленный граф базовой операции алгоритма БПФ с прореживанием по времени (бабочка).

Студентам предлагается подготовить реферат по теме «Быстрое преобразование Фурье». При подготовке реферата студентам необходимо провести оценку вычислительной сложности алгоритма ДПФ, рассмотреть алгоритм БПФ с основанием 2 с прореживанием по времени, направленный граф базовой операции алгоритма БПФ с прореживанием по времени («бабочка»), привести пример вычисления 8-точечного ДПФ с помощью алгоритма БПФ с прореживанием по времени, рассмотреть правило расстановки отсчетов исходной последовательности (бит-реверсию), провести оценку выигрыша в количестве операций при вычислении ДПФ с помощью алгоритма БПФ с основанием 2. При подготовке реферата необходимо использовать рекомендованную литературу (представлена в разделе 8 программы и приложении). Результаты подготовки реферата учитываются при проведении промежуточной аттестации.

В ходе изучения дисциплины в часы практических занятий студенты выполняют одну контрольную работу по теме «Математический аппарат описания сигналов и линейных систем (обобщение)».

При подготовке к контрольной работе необходимо использовать материал прочитанных лекций и семинарских занятий и рекомендованную литературу.

#### Контрольная работа.

Часть А. Математическое описание аналоговых сигналов и линейных систем в  $p$ - и частотной областях. Преобразование Лапласа. Преобразование Фурье. Связь преобразования Фурье с преобразованием Лапласа. Ряд Фурье.

Часть Б. Математическое описание дискретных сигналов и линейных систем в  $z$ - и частотной областях. Дискретное преобразование Лапласа.  $Z$ -преобразование. Связь  $Z$ -преобразования с дискретным преобразованием Лапласа. Преобразование Фурье. Связь преобразования Фурье с  $Z$ -преобразованием.

При выполнении данной контрольной работы студент должен продемонстрировать знания об основных инструментах математического описания аналоговых и дискретных сигналов и линейных систем в  $p$ -,  $z$ - и частотной областях (преобразование Лапласа, преобразование Фурье, ряд Фурье, дискретное преобразование Лапласа,  $Z$ -преобразование, преобразование Фурье дискретных сигналов) и связях между ними.

Результаты выполнения контрольной работы учитываются при проведении промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация проводится в форме *зачета* (4-й семестр).

### **Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**



1. Основы анализа сигналов. Цель, составляющие анализа сигналов. Классификация сигналов.
2. Энергия и мощность сигнала.
3. Спектральное представление периодических колебаний. Условия Дирихле. Синусо-косинусная форма (тригонометрические ряды Фурье).
4. Спектральное представление периодических колебаний. Условия Дирихле. Вещественная форма (амплитудно-фазовая формулировка).
5. Спектральное представление периодических колебаний. Условия Дирихле. Комплексная форма.
6. Разложение в ряд Фурье последовательности прямоугольных видеоимпульсов. Меандр.
7. Спектральное представление периодических колебаний. Математическая постановка проблемы. Обобщенный ряд Фурье.
8. Спектральное представление непериодических сигналов. Интегральное преобразование Фурье. Переход от ряда Фурье к интегралу Фурье. Спектральная функция.
9. Спектральное представление непериодических сигналов. Прямое и обратное преобразование Фурье. Принцип дуальности времени и частоты. Равенство Парсеваля. Энергетический спектр сигнала.
10. Связь длительности сигнала и ширины его спектра. Соотношение неопределенности. База сигнала. Основные свойства спектров и теоремы о спектрах (линейность, спектр произвольного вещественного процесса, задержка).
11. Основные свойства спектров и теоремы о спектрах (изменение временного масштаба сигнала, спектр производной сигнала, спектр определенного интеграла с переменным верхним пределом).
12. Основные свойства спектров и теоремы о спектрах (спектральная плотность произведения двух сигналов, спектр свертки сигналов).
13. Основные свойства спектров и теоремы о спектрах (умножение сигнала на гармоническую функцию. Связь преобразования Фурье и коэффициентов ряда Фурье).
14. Корреляционный анализ сигналов. Автокорреляционная функция (АКФ). Энергетический спектр сигнала. Взаимные корреляционные функции (ВКФ). Формулы Винера-Хинчина.
15. Фурье-анализ неинтегрируемых сигналов (дельта-функция, константа, функция Хевисайда, гармонический сигнал, комплексная экспонента, произвольный периодический сигнал).
16. Комплексная огибающая. Преобразование Гильберта. Спектр аналитического сигнала.
17. Прямое и обратное преобразование Лапласа. L-изображения широко распространенных функций.
18. Основные свойства преобразования Лапласа.
19. Определение оригиналов по изображениям в виде дробно-рациональных функций. Теорема разложения Хевисайда (восстановление оригиналов L-изображений с простыми полюсами).
20. Классификация аналоговых систем. Характеристики линейных систем (импульсная, переходная, комплексный коэффициент передачи).
21. Обобщенная схема ЦОС.
22. Основные типы сигналов и их математическое описание. Нормирование времени.
23. Типовые дискретные сигналы.
24. Основная полоса частот. Нормирование частоты.
25. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование. Частота Найквиста.
26. Спектр дискретного сигнала. Элайсинг.
27. Влияние формы дискретизирующих импульсов на спектральную функцию сигнала.

28. Теорема Котельникова. Базис Котельникова.
29. Математическое описание аналоговых сигналов и линейных систем в  $p$ -области и в частотной области (преобразование Лапласа, преобразование Фурье, связь между ними, ряд Фурье).
30. Математическое описание дискретных сигналов и линейных систем в  $z$ -области и в частотной области. Дискретное преобразование Лапласа.  $Z$ -преобразование. Связь  $Z$ -преобразования с дискретным преобразованием Лапласа. Преобразование Фурье. Связь преобразования Фурье с  $Z$ -преобразованием.
31.  $Z$ -преобразование последовательности. Комплексная переменная  $z$  в алгебраической и показательной формах. Область сходимости  $Z$ -изображения (радиус сходимости). Соотношение между  $p$ - и  $z$ -плоскостями.
32. Отображение  $p$ -плоскости на  $z$ -плоскость.
33. Основные свойства  $Z$ -преобразования.
34.  $Z$ -преобразования типовых дискретных сигналов. Обратное  $Z$ -преобразование.
35. Спектр дискретного сигнала конечной длительности. ДПФ периодической последовательности. Дискретный ряд Фурье для последовательности во временной области (обратное ДПФ). Дискретные коэффициенты Фурье.
36. Спектр дискретного сигнала конечной длительности. ДПФ периодической последовательности. Дискретный ряд Фурье для последовательности в частотной области (прямое ДПФ). Дискретные коэффициенты Фурье.
37. ДПФ конечной последовательности. Теорема Котельникова в частотной области.

## 7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1. Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
4	20	0	20	20	0	0	40	<b>100</b>

### Программа оценивания учебной деятельности студента

#### 4 семестр

##### **Лекции**

Контролируется посещаемость, наличие и полнота конспектов лекций – от 0 до 20 баллов.

##### **Лабораторные занятия**

Не предусмотрены.

##### **Практические занятия**

Контролируется посещаемость, оценивается уровень подготовки к семинару (активность работы, участие в обсуждении темы, ответы на вопросы) – от 0 до 20 баллов.

##### **Самостоятельная работа**

Контролируется изучение литературы, выполнение заданий лектора – от 0 до 10 баллов.

Контрольная работа.

Полнота выполнения задания, качество оформления, глубина и корректность анализа вопроса - от 0 до 5 баллов.

Реферат.

Глубина и корректность анализа вопросов, качество оформления - от 0 до 5 баллов.

##### **Автоматизированное тестирование**

Не предусмотрено.

### Другие виды учебной деятельности

Другие виды учебной деятельности не предусмотрены.

**Промежуточная аттестация** по дисциплине «Основы цифровой обработки сигналов» в 4 семестре оценивается от 0 до 40 баллов и проводится в форме *зачета*.

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета:

ответ на «зачтено» оценивается от 24 до 40 баллов;

ответ на «не зачтено» оценивается от 0 до 23 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 4 семестр по дисциплине «Основы цифровой обработки сигналов» при проведении промежуточной аттестации в форме зачета составляет **100** баллов.

Пересчет полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Основы цифровой обработки сигналов» в оценку (зачет) осуществляется в соответствии с Таблицей 2.

Таблица 2. Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине в оценку (зачет):

60 баллов и более	«зачтено»
меньше 60 баллов	«не зачтено»

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) литература:

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие. – 2-е изд. – М.; СПб. и др.: Питер, 2007 – 750 с. **Гриф МО РФ** (13 экз.)
2. Цифровая обработка сигналов [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Алан Оппенгейм. - Москва : Техносфера, 2012. - 1048 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
3. Цифровая обработка сигналов [**Электронный ресурс**] : учебное пособие / Гадзиковский В. И. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2013. - 766 с. **Гриф УМО** - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
4. Теоретические основы радиоэлектроники: учеб. пособие для студентов физ. фак., фак. нелинейн. процессов и фак. нано- и биомед. технологий / А. В. Хохлов ; Саратов. гос. ун-т им. Н. Г. Чернышевского. - Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. – 295 с. (73 экз.)
5. Солонина А. И., Улахович Д. А., Арбузов С. М., Соловьёва Е. Б. Основы цифровой обработки сигналов : Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и перераб. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 753 с. **Гриф УМО** (5 экз.)
6. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов: Учебник. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2009. – 855 с. (16 экз.)
7. Цифровая обработка сигналов. Практический подход [Текст] = Digital Signal Processing. A Practical Approach / Э. Айфичер, Б. Джервис. - 2-е изд. - Москва; Санкт-Петербург ; Киев : Вильямс, 2008. – 989 с. (7 экз.)

#### б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Windows XP Prof
2. Антивирус Касперского 6.0 для Windows Workstations
3. Microsoft Office профессиональный 2010
4. Каталог образовательных Интернет-ресурсов. – Режим доступа: <http://window.edu.ru>
5. Зональная научная библиотека им. В.А.Артисевич Саратовского государственного университета им.Н.Г.Чернышевского. – Режим доступа: <http://library.sgu.ru/>

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Занятия по дисциплине «Основы цифровой обработки сигналов» проводятся в аудиториях, оснащенных компьютерной техникой, проекторами, соответствующих действующим санитарным и противопожарным нормам, а также требованиям техники безопасности при проведении учебных и научно-производственных работ.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и профилем «Физика и технология твердотельных электронных микро- и наноструктур».

Автор: Митин А.В.

Программа разработана в 2019 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников 30 октября 2019 г., протокол № 3.

Программа актуализирована в 2021 г. и одобрена на заседании кафедры физики полупроводников от 20 октября 2021 года, протокол № 2.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

Рекомендуемая литература:

1. Штарк Г.-Г. Применение вейвлетов для ЦОС – М.: Техносфера, 2007. – 183 с. (3 экз.)
2. Денисенко А.Н. Цифровые сигналы и фильтры. Теория и практика применения. – М.: Медпрактика-М, 2008. – 187 с. ( 1 экз.)