

**Методические указания
по изучению дисциплины
«Радиотехнические цепи и
сигналы часть 2»
для студентов групп
РССО-1,2,3-17
РРБО-1,2-17**

Литература

Основная литература

1. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов / О. А. Стеценко. — М.: Высш. шк., 2007. — 432 с. <https://library.mirea.ru/books/39991>
2. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для студентов радиотехн. спец. вузов / И. С. Гоноровский. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с. <https://library.mirea.ru/books/6969>
3. Радиотехнические цепи и сигналы: учеб. для вузов / С. И. Баскаков. — М.: Высш. шк., 2005. — 462 с. <https://library.mirea.ru/books/875>
4. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособие / Д. В. Васильев, М. Р. Витоль, Ю. Н. Горшенков, и др.; К. А. Самойло. — М.: Радио и связь, 1982. — 528 с. <https://library.mirea.ru/books/19694>

Дополнительная литература

5. Карташев В.Г. Основы теории дискретных сигналов и цифровых фильтров: учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1982.
6. Основы цифровой обработки сигналов: Учеб. пособие для вузов / А. И. Солонина, Д. А. Улахович, С. М. Арбузов, Е. Б. Соловьева. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 753 с. <https://library.mirea.ru/books/831>
7. Сигналы. Теоретическая радиотехника: Справ. пособие / А. Н. Денисенко. — М.: Горячая линия - Телеком, 2005. — 704 с. <https://library.mirea.ru/books/45>
8. Теория радиотехнических цепей / Н. В. Зернов, В. Г. Карпов. — Л.: Энергия, 1972. — 816 с.: ил. — Библиогр.: с. 804 (15 назв.) <https://library.mirea.ru/books/9447>
9. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М.: Наука, 1998. — 608 с. <https://library.mirea.ru/books/4829>

Пособия и методические указания

10. Радиотехнические цепи и сигналы. Ч. 2 [Электронный ресурс]: метод. указания по выполнению лаб. работ / В. Н. Исаков, Д. Р. Барский. — М.: РТУ МИРЭА, 2019. — Электрон. опт. диск (ISO) <https://library.mirea.ru/share/3274>

Календарный план занятий

Неделя	Лекция	Практические занятия		
		РРБО-1-17	РРБО-2-17	РССО-1,2,3-17
1	11.02 Понятие дискретного сигнала. Система ЦОС.		11.02 Спец. вопросы спектрального анализа сигналов	10.02 Спец. вопросы спектрального анализа сигналов
2	18.02 Математическое описание и спектр дискретного сигнала	18.02 Спец. вопросы спектрального анализа сигналов		
3	25.02 Спектральный анализ дискретных сигналов		25.02 Z-преобразование 1	24.02 Z-преобразование 1
4	03.03 Интерполяция сигналов 1	03.03 Z-преобразование 1		
5	10.03 Интерполяция сигналов 2		10.03 Z-преобразование 2	09.03 Z-преобразование 2
6	17.03 Цифровые фильтры и их основные характеристики	17.03 Z-преобразование 2		
7	24.03 Цифровые фильтры и методы их анализа		24.03 Интерполяция сигналов	23.03 Интерполяция сигналов
8	31.03 Некоторые цифровые фильтры специального вида 1	31.03 Интерполяция сигналов		
9	07.04 Некоторые цифровые фильтры специального вида 2		07.04 Спектральный анализ дискретных сигналов	06.04 Спектральный анализ дискретных сигналов
10	14.04 Синтез цифровых фильтров по АФП 1	14.04 Спектральный анализ дискретных сигналов		
11	21.04 Синтез цифровых фильтров по АФП 2.		21.04 Цифровые фильтры и их основные характеристики	21.04 Цифровые фильтры и их основные характеристики
12	28.04 Аналоговые фильтры-прототипы с П-образной АЧХ	28.04 Цифровые фильтры и их основные характеристики		
13				
14	12.05 Цифровые фильтры Баттерворта и Чебышёва	12.05 Методы анализа цифровых фильтров		
15	19.05 Прямой синтез цифровых фильтров		19.05 Методы анализа цифровых фильтров	18.05 Методы анализа цифровых фильтров
16	26.05 Преобразования цифровых фильтров. (Преобразования Константинидиса)	20.05 Заключительное занятие		

Лекция 1

Понятие дискретного сигнала. Система ЦОС.

Содержание занятия

1. Краткое введение ЦОС.
2. Классификация сигналов: аналоговые (непрерывные), дискретные, квантованные, цифровые.
3. Основные понятия при ЦОС. Виды квантования, шум квантования.
4. Обобщённая структурная схема системы цифровой обработки сигналов (схема, временные диаграммы).
5. Достоинства (универсальность, адаптивность, совместимость) и недостатки (погрешности, сложность и высокая себестоимость) цифрового способа обработки сигналов.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы	14.1-14.2	12.1	1	1	6.1

Лекция 2

Математическое описание и спектр дискретного сигнала

Подготовка к занятию

Повторить раздел «Спектральный анализ непериодических сигналов» из курса «Радиотехнические цепи и сигналы часть 1».

Содержание занятия

1. Математическое описание и дискретного сигнала. Несущая импульсная последовательность, её математическое описание, реализуемый и идеальный случай. Выражения для дискретного сигнала. Дискретный сигнал, как последовательность данных, хранящихся в памяти ЭВМ. Три вида временных диаграмм.
2. Спектр дискретного сигнала (вывод). Сводная таблица спектров. Спектр дискретного сигнала при различных частотах дискретизации.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы	14.4-14.5	2.17	2	10.3	6.2

Лекция 3
Дискретизация сигналов
Подготовка к занятию

Повторить лекцию 2.

Содержание занятия

1. Условие восстановления сигнала с ограниченным спектром в общем случае. Интервал Найквиста. Эффект наложения и дискретизация сигналов с неограниченным спектром.
2. Теорема Котельникова с доказательством. Обсуждение ряда Котельникова. Особенности восстановления сигналов с разрывами.
3. Минимальное число отсчётов, необходимое для дискретного представления одиночного видеоимпульса. Связь с базой сигнала.

Домашнее задание

1. Читать и конспектировать:

Источ-ник	1	3	4	5	6	7
Разделы	14.3	2.15	5.1-5.2 15.1-15.2	2		6.7.3

2. Решить задачи к лабораторной работе №1.

Лекция 4
Спектральный анализ дискретных сигналов
Подготовка к занятию

Повторить раздел «Обобщённый спектральный анализ» из курса «Радиотехнические цепи и сигналы часть 1». Повторить лекцию 3.

Содержание занятия

1. Дискретизация спектра сигнала. Теорема Котельникова в частотной области.
2. Спектральное представление дискретных сигналов. ДПФ. Некоторые свойства ДПФ. Связь ДПФ с Z – преобразованием.

3. Спектр дискретного сигнала и ДПФ: ДПФ, как отсчёты спектра дискретного сигнала.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы	14.6-14.7	2.16, 12.14	3.2	11	6.3

Лекция 5

Интерполяция сигналов 1

Содержание занятия

1. Формулировка задачи восстановления (интерполяции) сигналов. Интерполяционный оператор и требования предъявляемые к решению задачи интерполяции: непрерывность, согласованность, линейность, сходимость. Структура выражения для интерполирующей функции, базисные функции и их свойства, получение БФ.
2. Классификация методов интерполяции: глобальные и локальные, регулярные и нерегулярные, изотропные и неизотропные.
3. Регулярный метод интерполяции. Базисные функции, сходимость, возможность реализации с помощью линейной цепи.
4. Оценка качества при локальной регулярной интерполяции.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы		12.11			6.7

Лекция 6

Интерполяция сигналов 2

Подготовка к занятию

Повторить лекцию 5.

Содержание занятия

1. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Базисные функции.
2. Локальные методы интерполяции.

2.1. Локальная полиномиальная интерполяция. Общий принцип. Локальная полиномиальная интерполяция первого порядка. Порождающая функция. Выражение для интерполирующего фрагмента.

2.2. Оценка производных аналогового сигнала в моменты дискретизации на основе локальной полиномиальной интерполяции. Пример при первом порядке интерполяции для первой производной.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы					6.7

Лекция 7

Цифровые фильтры и их основные характеристики

Содержание занятия

1. Понятие ЦФ. Определение ЦФ и разностное уравнение.
2. Разностные уравнения и методы их решения.
3. Принцип суперпозиции. Доказательство.
4. Временные характеристики ЦФ. Линейные дискретные системы и оператор свёртки. Импульсная характеристика. Переходная характеристика. Принцип причинности и физическая реализуемость.
5. Классификация ЦФ. Схемы ЦФ. БИХ и КИХ фильтры. ИХ нерекурсивного ЦФ.
6. Принцип транспозиции. Доказательство
7. Частотные характеристики ЦФ. ЧХ, АЧХ, ФЧХ.
8. Системная функция ЦФ. Связь СФ и ИХ, связь СФ и ЧХ.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	4	5	6	7
Разделы	15.1-15.3	12.2, 12.3, 12.7	15.4, 15.5	4.1-4.4	4, 5, 6, 17	6.7

Лекция 8
Цифровые фильтры и методы их анализа
Подготовка к занятию

Повторить лекцию 7.

Содержание занятия

1. Методы анализа ЦФ.
2. Последовательное и параллельное соединение ЦФ.
3. Каноническая схема ЦФ.
4. Представление ЦФ в виде последовательного соединения элементарных звеньев.
5. Устойчивость ЦФ.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы	15.4-15.6				

Лекция 9
Некоторые цифровые фильтры специального вида 1
Подготовка к занятию

Повторить лекцию 6.

Содержание занятия

1. Дифференцирующие ЦФ.
2. Интегрирующие ЦФ.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы				21	

Лекция 10
Некоторые цифровые фильтры специального вида 2
Подготовка к занятию

Повторить лекцию 6.

Содержание занятия

1. МНК-фильтры.

2. Интерполирующие фильтры.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы				29	

Лекция 11

Синтез цифровых фильтров по аналоговому фильтру-прототипу 1

Подготовка к занятию

Повторить лекции 7,8.

Содержание занятия

1. Постановка задачи.
2. Метод дискретизации дифференциального уравнения. Конечная разность, формула для многократной конечной разности. Дискретизация дифференциального уравнения в общем виде.
3. Метод инвариантной импульсной характеристики. Синтез рекурсивных БИХ фильтров. Синтез нерекурсивных КИХ – фильтров.
4. Метод инвариантной частотной характеристики (билинейного преобразования). Билинейное преобразование. Отображение p – плоскости на z – плоскость. Частотные шкалы для АФП и ЦФ. Преобразование АЧХ АФП в АЧХ ЦФ (графически).

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	4	5	6	7
Разделы	15.7	15.6	4.5	23-24	

Лекция 12

Синтез цифровых фильтров по аналоговому фильтру-прототипу 2

Подготовка к занятию

Повторить лекцию 11.

Содержание занятия

1. Методом инвариантной частотной характеристики получить ЦФ, соответствующий аналоговой цепи первого порядка.
2. Методом ИЧХ получить ЦФ, соответствующий аналоговому ФНЧ 1-го порядка.
3. Методом инвариантной частотной характеристики получить ЦФ, соответствующий аналоговой цепи второго порядка.
4. Методом ИЧХ получить ЦФ, соответствующий аналоговому ПФ второго порядка.
5. Методом инвариантной импульсной характеристики получить нерекурсивный и рекурсивный ЦФ соответствующий аналоговому ФНЧ 1-го порядка.
6. Методом инвариантной импульсной характеристики получить рекурсивный ЦФ соответствующий аналоговому ПФ 2-го порядка.
7. Методом дискретизации дифференциального уравнения получить ЦФ соответствующий аналоговой цепи первого порядка.
8. Методом дискретизации дифференциального уравнения получить ЦФ, соответствующий ФНЧ 1-го порядка.
9. Методом дискретизации дифференциального уравнения получить ЦФ соответствующий АФП второго порядка.
10. Методом ДДУ получить ЦФ, соответствующий аналоговому ПФ 2-го порядка.

Домашнее задание

Решить задачи к лабораторной работе №4.

Лекция 13

Аналоговые фильтры-прототипы с П-образной АЧХ

Содержание занятия

1. Параметры фильтров с П-образной АЧХ. Уровни полосы пропускания и среза, частоты среза и подавления, ширина переходной полосы, относительная ширина переходной полосы, коэффициент прямоугольности. Нормированные фильтры.
2. Фильтр Баттерворта. АЧХ нормированного фильтра Баттерворта. Свойство максимальной гладкости в полосе пропускания. Полосы фильтра Баттерворта. Структура фильтра Баттерворта.
3. Фильтр Чебышёва. Многочлен Чебышёва и некоторые его свойства. АЧХ фильтра Чебышёва. Полосы фильтра Чебышёва.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы		15		23.1.2.1 23.1.2.2	

Лекция 14

Цифровые фильтры Баттерворта и Чебышёва

Подготовка к занятию

Повторить лекции 12, 13.

Содержание занятия

1. Цифровые фильтры Баттерворта и Чебышёва (синтез методом ИЧХ)
2. Методика расчёта ЦФ Баттерворта.
3. Методика расчёта ЦФ Чебышёва.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы					

Лекция 15

Прямой синтез цифровых фильтров

Содержание занятия

1. ДПФ прямоугольного дискретного импульса.
2. Синтез ЦФ методом взвешивания.
3. Синтез ЦФ методом частотной выборки.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы				19	

Лекция 16
Преобразования цифровых фильтров
(Преобразования Константиноидиса)

Содержание занятия

1. Классификация ЦФ по виду частотной характеристики. ФНЧ, ФВЧ, ПФ, РФ идеализированные и реальные АЧХ, полоса пропускания, полоса заграждения, переходная полоса, спецификации и характеристики фильтров. Идея преобразования ЦФ.
2. Преобразование общего вида. Билинейное и биквадратное преобразование.
3. Преобразование ФНЧ в ФНЧ.
4. Преобразование ФНЧ в ФВЧ.
5. Преобразование ФНЧ в ПФ (без вывода)
6. Преобразование ФНЧ в РФ (без вывода)

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы				24.2	

Практическое занятие 1

Специальные вопросы спектрального анализа сигналов

Подготовка к занятию

Повторить разделы «Спектральный анализ периодических сигналов» и «Спектральный анализ непериодических сигналов» курса «Радиотехнические цепи и сигналы часть 1».

Содержание занятия

1. Спектральная плотность комплексного гармонического сигнала.
2. Спектральная плотность периодического сигнала.
3. Найти спектральную плотность периодической последовательности прямоугольных импульсов.
4. Найти спектральную плотность периодической последовательности дельта-импульсов.
5. Импульсная и комплексная частотная характеристики идеального фильтра нижних частот.

Практическое занятие 2

Z-преобразование

Подготовка к занятию

Повторить из курса «Теория функций комплексного переменного» понятие аналитической функции и ряд Лорана.

Содержание занятия

1. Ряд Лорана. Прямое и обратное Z – преобразование. Связь Z – преобразования и преобразования Лапласа, дискретное преобразование Лапласа.
2. Основные свойства Z – преобразования. Линейность, смещение, запаздывание, дискретная свёртка, умножение на степенную последовательность, умножение на косинус, умножение на n .
3. Геометрическая прогрессия, частичная и полная сумма геометрической прогрессии.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	4	5	6	7
----------	---	---	---	---	---	---

Разделы	14.8	12.6	15.3	3.5-3.7	3	6.6
---------	------	------	------	---------	---	-----

Практическое занятие 3 Z-преобразование Подготовка к занятию

Повторить практическое занятие 2.

Содержание занятия

1. Найти Z – преобразование сигнала $s(nT) = \{1, a^T, a^{2T}, \dots, a^{(N-1)T}\}$. Таблица при различных a и при различных N . Частные случаи (прямоугольный импульс, функция Хевисайда, дискретный экспоненциальный импульс).
2. Найти Z – преобразование сигнала $s(nT) = \sigma(n)a^n \cos(\omega_0 nT + \varphi_0)$. Частные случаи (Косинус и синус, экспоненциальный радиоимпульс).
3. Найти обратное Z – преобразование $S(z) = \frac{z+1}{z(z-0.5)}$. Разложением на простые дроби и вычетами.
4. Найти общую формулу члена последовательности Фибоначчи.

Домашнее задание

Оформить результаты, полученные на практическом занятии в таблицу Z-преобразований.

Практическое занятие 4 Интерполяция сигналов Подготовка к занятию

Повторить лекции 5,6.

Содержание занятия

1. Сплайн-интерполяция. Интерполирующая сплайн-функция, степень гладкости, полиномиальные сплайны.
2. Локальные полиномиальные сплайны 1-й степени гладкости, базисная функция.
- ~~3. Локальные полиномиальные сплайны 2-й степени гладкости, базисная функция.~~

Домашнее задание

1. Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы				7	7

2. Решить задачи к лабораторной работе №3.

Практическое занятие 5

Спектральный анализ дискретных сигналов

Подготовка к занятию

Повторить лекцию 4.

Содержание занятия

1. Быстрое преобразование Фурье. Разбор алгоритма.
2. Детализация спектра.
3. Найти спектр и ДПФ дискретного прямоугольного импульса.
4. Найти спектр и ДПФ дискретного экспоненциального импульса.

Домашнее задание

1. Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы	14.7	12.14-12.16	3.3	12	6.4

2. Решить задачи к лабораторной работе №2.

Практическое занятие 6

Цифровые фильтры и их основные характеристики

Подготовка к занятию

Повторить лекции 7,8.

Содержание занятия

1. Временные характеристики ЦФ первого порядка (в общем виде).
2. Временные характеристики ЦФ второго порядка без нерекурсивной части (в общем виде).
3. Составить текст программы на C++ для реализации ЦФ.

Домашнее задание

Читать и конспектировать:

Источник	1	3	5	6	7
Разделы		12.8		5.4	

Практическое занятие 7
Методы анализа цифровых фильтров
Подготовка к занятию

Повторить лекцию 8.

Содержание занятия

1. Задача №1. Решая разностное уравнение методом непосредственной подстановки определить реакцию цифрового дифференциатора на симметричный треугольный импульс.
2. Задача №2. Определить реакцию ЦФ на прямоугольный импульс. Частный случай для ЦФ 1-го порядка.
3. Задача №3. Определить реакцию КИХ ЦФ с треугольной ИХ на прямоугольный импульс. Использовать формулу свёртки, процесс решения пояснить графически.
4. Задача №4. Определить реакцию ЦФ 1-го порядка на импульс $x(n) = \sigma(n)\xi^n$. Решить двумя методами: обратным z-преобразованием и свёрткой.

Практическое занятие 8
Заключительное занятие

Рассматриваем и добиваем материал, который не успели в течение семестра, защищаем лабораторные работы, разбираем типовые вопросы и задачи.