

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА
Кафедра радиотехнических систем

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине (модулю)
«Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки
11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Направленность (профиль) подготовки
Радиоэлектронная борьба
Радионавигационные системы и комплексы
Радиосистемы и комплексы управления
Радиоэлектронные системы передачи информации

Уровень подготовки
специалитет

Программа подготовки
специалитет

Квалификация выпускника – инженер
Форма обучения – очная

Рязань 2024

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимся в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на практических занятиях и лабораторных работах. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по каждому модулю определено учебным графиком и учебным планом.

На практических занятиях допускается использование либо системы «зачтено – не зачтено», либо рейтинговой системы оценки, при которой, например, правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является определенное количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением зачета.

Форма проведения зачёта – устный ответ по тестовым билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п. Решение задачи также предоставляется в письменном виде.

Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	2	3	4
1	Введение в цифровую обработку сигналов. Сигналы и их преобразования при цифровой обработке	ПК-3.2	зачет
2	Математическое описание и характеристики дискретных систем	ПК-3.2	зачет
3	Характеристики и структуры цифровых фильтров	ПК-3.2	зачет

4	Синтез цифровых фильтров по заданной частотной характеристике	ПК-3.2	зачет
5	Синтез нерекурсивных фильтров по заданной частотной характеристике	ПК-3.2	зачет

Шкала оценивания компетенций (результатов)

- 1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.
- 2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.
- 3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.
- 4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям.
- 5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается в форме оценки «зачтено» или «не зачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров; показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов; без ошибок выполнил практическое задание.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе. Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и контрольной работы, систематическая активная работа на семинарских занятиях.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не справился с 50% вопросов и заданий билета, в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления о взаимосвязях, компонентах, этапах развития культуры у студента нет. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы к промежуточной аттестации (зачету)

1. Общая структура системы цифровой обработки сигналов
2. Математические модели дискретных сигналов
3. Спектр дискретного сигнала; связь между спектрами дискретного и аналогового сигналов
4. Дискретизация аналоговых сигналов с финитным спектром. Теорема отсчетов. Характеристики идеального фильтра нижних частот.
5. Дискретизация аналоговых сигналов с неограниченным по частоте спектром. Явление подмены частот при дискретизации

6. Квантование сигналов по уровню. Шумы квантования
7. Цифровое кодирование сигналов
8. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области, разностные уравнения. Рекурсивные и нерекурсивные фильтры
9. Импульсная характеристика $h(n)$. Дискретная временная свертка. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа.
10. Структурные схемы нерекурсивных и рекурсивных фильтров. Прямая и каноническая формы реализации.
11. Методы математического описания дискретных сигналов на комплексной плоскости. Z-преобразование, основные свойства.
12. Z- и Фурье-образы тестовых последовательностей дискретных систем.
13. Передаточная функция и частотная характеристика дискретной системы. Связь между $H(z)$ и $h(n)$
14. Частотная характеристика дискретной системы, связь между $H(z)$ и $H(j\omega)$. АЧХ и ФЧХ дискретных систем. Нормированная по частоте частотная характеристика. Свойство периодичности.
15. Передаточные функции рекурсивных (БИХ) фильтров. Связь $H(z)$ и структурной схемой рекурсивного фильтра.
16. Нули и полюса передаточной функции, Нуль-полюсная форма передаточной функции рекурсивных фильтров.
17. Передаточные функции рекурсивных (БИХ) фильтров Критерий устойчивости.
18. Частотные характеристики рекурсивных (БИХ) фильтров. Картина нулей и полюсов ЦФ.
19. Параллельная и последовательная (каскадная) формы реализации рекурсивных фильтров
20. БИХ-фильтры 1-го порядка: основные характеристики и свойства (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).
21. БИХ-фильтры 2-го порядка: основные характеристики и свойства. (АЧХ, импульсная и переходная характеристики). Характеристики фильтра при действительных и комплексно-сопряженных полюсах.
22. Биквадратный фильтр второго порядка: основные характеристики и свойства.
23. Нерекурсивные (КИХ-) фильтры: основные характеристики и свойства.
24. КИХ-фильтр 1-го порядка: основные характеристики и свойства.
25. КИХ-фильтр 2-го порядка: основные характеристики и свойства.
26. Общая методика синтеза РФ по аналоговому прототипу
27. Метод билинейного преобразования (Простое билинейное преобразование)
28. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Методика синтеза КИХ-фильтров методом весовых функций. D-фактор
29. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Эффект Гиббса
30. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Прямоугольное окно
31. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Треугольное окно
32. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Обобщенное косинусное окно. Семейство косинусных окон.
33. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Весовые функции Кайзера.
34. Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки

35. Метод цифровой фильтрации на основе дискретного преобразования Фурье
36. Алгоритм цифровой фильтрации конечных последовательностей на основе дискретного преобразования Фурье
37. Численные методы синтеза цифровых фильтров
38. Синтез оптимальных КИХ-фильтров численным методом, полиномы Чебышева

План практических занятий

1. Дискретные сигналы.
2. Дискретное преобразование Фурье.
3. Дискретные системы.
4. Характеристики и структуры цифровых фильтров

Типовые задачи для практических занятий

Тема 1. «Дискретные сигналы».

- 1.1. Записать математическое выражение дискретного сигнала для заданного аналогового прототипа как:
 - функцию дискретного времени;
 - функцию номера выборки;
 - функцию непрерывного времени.
- 1.2. Записать математическое выражение типовых дискретных сигналов: для заданного аналогового прототипа как:
 - единичный импульс;
 - единичный скачок;
 - дискретная экспонента;
 - дискретный гармонический сигнал;
 - дискретный комплексный гармонический сигнал.
- 1.3. Записать математическое выражение заданного прямоугольного дискретного импульса через:
 - функции единичных импульсов;
 - функции единичного скачка.
- 1.4. Найти Z-преобразование дискретной экспоненты. Показать связь между полюсом z_p на Z-плоскости и графиком дискретной экспоненты.
- 1.5. Найти Z-преобразование затухающей дискретной косинусоиды. Показать связь между полюсами $z_{p1,2}$ на Z-плоскости и графиком дискретной косинусоиды.
- 1.6. Найти спектр типовых дискретных сигналов:
 - единичный импульс;
 - единичный скачок;
 - дискретная экспонента;
 - дискретная комплексная экспонента;
 - дискретный гармонический сигнал;
 - дискретный комплексный гармонический сигнал.
- 1.7. Найти спектр заданного прямоугольно дискретного импульса

Тема 2. «Дискретное преобразование Фурье».

- 2.1. Учитывая условие периодичности дискретного сигнала определить условие периодичности дискретной синусоиды.
- 2.2. Учитывая условие периодичности дискретного сигнала определить условие периодичности дискретной комплексной экспоненциальной последовательности.

2.3. Пусть $x(n)$ – N-точечная вещественная последовательность. Доказать, что модуль ее ДПФ будет четной функцией переменной k : $|X(k)| = |X(-k)|$; $|X(k)| = |X(N-k)|$, а аргумент – нечетный: $\arg\{X(k)\} = -\arg\{X(-k)\}$; $\arg\{X(k)\} = -\arg\{X(N-k)\}$.

2.4. Пусть $x(n)$ – N-точечная вещественная последовательность, для которой выполняется условие симметрии $x(n) = x(N-n)$. Доказать, что ДПФ также будет вещественным.

2.5. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно): $x(n) = \delta(n)$.

2.6. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно):

$$x(n) = \delta(n - n_0), 0 \leq n_0 \leq N - 1.$$

2.7. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно): $x(n) = \begin{cases} 1, & n - \text{четно}, \\ 0, & n - \text{нечетно}. \end{cases}$

2.8.. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно): $x(n) = \begin{cases} a^n, & 0 \leq n \leq N - 1, \\ 0, & \text{иначе}. \end{cases}$

2.9. .. Найти ДПФ N-точечной последовательности (N-четно):

$$x(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N/2 - 1, \\ 0, & \frac{N}{2} \leq n \leq N - 1. \end{cases}$$

2/10/ .. Найти ДПФ комплексной последовательности:

$$x(n) = \begin{cases} e^{j\omega_0 n}, & 0 \leq n \leq N - 1, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Найти коэффициенты ДПФ этой последовательности для случая $\omega_0 = \frac{2\pi k_0}{N}$, где k_0 – целое число

2.11. Найти ДПФ дискретной последовательности $x(n) = [1, 2, 2, 1]$.

2.12. Найти дискретную последовательность, ДПФ которой $X(k) = (4, 2e^{-\frac{j\pi}{4}}, 1, 2e^{\frac{j\pi}{4}})$

Тема 3. «Дискретные системы».

3.1. Используя ДВС вычислить реакцию нерекурсивной линейной дискретной системы (при нулевых начальных условиях) по заданным импульсной характеристике и входном воздействии.

3.2. По заданному разностному уравнению вычислить импульсную характеристику нерекурсивной линейной дискретной системы.

3.3. По заданному разностному уравнению вычислить переходную характеристику нерекурсивной линейной дискретной системы.

3.4. По заданному разностному уравнению вычислить реакцию нерекурсивной линейной дискретной системы на заданное входное воздействие.

3.5. Вычислить импульсную характеристику рекурсивной линейной дискретной системы первого порядка.

3.6. По заданному разностному уравнению вычислить переходную характеристику рекурсивной линейной дискретной системы.

3.7. По заданному разностному уравнению вычислить реакцию рекурсивной линейной дискретной системы на заданное входное воздействие.

3.8. Определить устойчивость рекурсивной линейной дискретной системы, импульсная характеристика которой имеет вид: $h(n) = \begin{cases} a^n, & n \geq 0; \\ 0, & n < 0. \end{cases}$

3.9. По заданным передаточным функциям 1-го (2-го) порядка определить устойчивость рекурсивных линейных дискретных систем.

3.10. По заданным передаточным функциям 1-го (2-го) порядка записать соответствующие разностные уравнения, определить импульсные характеристики и составить структурные схемы соответствующих линейных дискретных систем.

- 3.11. По заданной структурной схеме составить разностное уравнение и записать передаточную функцию.
- 3.12. По заданной импульсной характеристике (а) - $h(n) = (1, -1)$; б) - $h(n) = 0,2^n$ составить структурную схему и найти передаточную функцию.

Тема 4. «Характеристики и структуры цифровых фильтров»

- 4.1. При заданных параметрах (а и b) передаточной функции рекурсивного фильтра 1-го порядка

$$H(z) = \frac{a}{1-bz^{-1}} \text{ выполнить:}$$

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);
- записать разностное уравнение;
- определить положение полюсов на Z-плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- получить выражение и построить импульсную характеристику ЦФ;
- получить выражение и построить переходную характеристику ЦФ;
- используя разностное уравнение ЦФ или ДВС вычислить значения отсчетов $y(n)$ при подаче на вход ЦФ заданной дискретной последовательности $x(n)$.

- 4.2. При заданных параметрах (а, b_1 и b_2) передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{a}{1-b_1z^{-1}-b_2z^{-2}} \text{ выполнить:}$$

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);
- записать разностное уравнение;
- определить положение полюсов на Z-плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- по положению полюсов на Z-плоскости определить тип фильтра (ФНЧ, ФВЧ, ПФ или РФ);
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- преобразовать передаточную функцию ЦФ в параллельную форму. Составить структурную схему рекурсивного ЦФ 2-го порядка в параллельной форме;
- преобразовать передаточную функцию ЦФ в последовательную форму. Составить структурную схему рекурсивного ЦФ 2-го порядка в каскадной форме;
- получить выражение и построить импульсную характеристику ЦФ;
- получить выражение и построить переходную характеристику ЦФ;
- используя разностное уравнение ЦФ или ДВС вычислить значения отсчетов $y(n)$ при подаче на вход ЦФ заданной дискретной последовательности $x(n)$.

- 4.3. При заданных значениях полюсов (z_{p1} и z_{p2}) и коэффициента а передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{1}{1-b_1z^{-1}-b_2z^{-2}} \text{ определить коэффициенты передаточной функции } b_1 \text{ и } b_2 \text{ и}$$

выполнить задания по п. 4.2.

- 4.4. При заданных параметрах (a_1 , a_2 , b_1 и b_2) передаточной функции биквадратного фильтра

$$H(z) = \frac{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}}{1-b_1z^{-1}-b_2z^{-2}} \text{ выполнить:}$$

- составить структурную схему ЦФ (прямая и каноническая формы);

- записать разностное уравнение;
- определить положение нулей и полюсов на Z -плоскости и сделать заключение об устойчивости фильтра;
- записать выражение для комплексной частотной характеристики фильтра;
- получить выражение и построить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики ЦФ;
- получить выражение для импульсной характеристики ЦФ;

Перечень лабораторных работ и вопросов для контроля

№ работы	Название лабораторной работы и вопросы для контроля	Шифр
1	Дискретные сигналы 1. Какие преобразования имеют место при цифровой обработке сигналов? 2. Что такое дискретный сигнал и дискретная последовательность? 3. Какова природа размножения спектров при дискретизации сигналов по времени? 4. В чем заключаются взаимосвязь и отличие спектров дискретного и аналогового сигналов? 5. Как по известному спектру аналогового сигнала определить спектр соответствующего ему дискретного сигнала? 6. В чем заключается явление наложения спектров при дискретизации сигналов? 7. Можно ли по известному спектру дискретного сигнала найти спектр соответствующего ему аналогового сигнала? 8. Из каких условий выбирается частота дискретизации аналоговых сигналов? 9. Какова математическая модель квантования сигнала по уровню? 10. Как определяется погрешность квантования дискретного квантованного сигнала? 11. Как осуществляется цифровое кодирование сигнала? 12. Как определяется погрешность квантования цифрового сигнала? 13. Из каких условий выбирается необходимая разрядность АЦП? 14. Как определяются автокорреляционная функция и спектральная плотность шума квантования АЦП? 15. При каком условии цифровой и дискретный сигналы математически адекватны?	5417
2	Рекурсивные фильтры 1. Запишите разностное уравнение для БИХ-фильтров. 2. Изобразите структурную схему БИХ-фильтра. 3. Как находится передаточная функция РФ по его разностному уравнению? 4. Что такое нули и полюса передаточной функции? Условия устойчивости фильтра? 5. Какой вид имеет ноль-полюсная форма передаточной функции РФ и каково ее практическое значение?	5417

	6. Как получить частотную характеристику БИХ-фильтра по его передаточной функции? 7. Формы реализации РФ (прямая и каноническая). 8. Анализ частотных характеристик БИХ-фильтра 1-го порядка. 9. Получить выражение для импульсной характеристики БИХ-фильтра 1-го порядка. 10. Получить выражение для переходной характеристики БИХ-фильтра 1-го порядка. 11. Анализ частотных характеристик БИХ-фильтра 2-го порядка при вещественных полюсах передаточной функции. 12. Анализ частотных характеристик БИХ-фильтра 2-го порядка при комплексно-сопряженных полюсах передаточной функции. 13. Как определяется треугольник устойчивости БИХ-фильтра 2-го порядка? 14. Свойства импульсной характеристики БИХ-фильтра 2-го порядка при вещественных и комплексно-сопряженных полюсах. 15. Что показывает диаграмма характеристик БИХ-фильтра 2-го порядка?	
3	Нерекурсивные фильтры 1. Какова структура нерекурсивного фильтра на основе ДВС? 2. Каково условие линейности фазочастотной характеристики нерекурсивного фильтра? 3. Как аналитически найти отклик нерекурсивного фильтра на заданное входное воздействие? 4. Как аналитически найти импульсную (переходную) характеристику нерекурсивного фильтра? 5. Как найти передаточную функцию нерекурсивного фильтра? 6. Как найти частотную характеристику нерекурсивного фильтра? 7. При каких условиях нерекурсивная цепь первого порядка является фильтром нижних частот? 8. При каких условиях нерекурсивная цепь первого порядка является фильтром верхних частот? 9. При каких условиях нерекурсивная цепь второго порядка является фильтром нижних частот? 10. При каких условиях нерекурсивная цепь второго порядка является фильтром верхних частот? 11. При каких условиях нерекурсивная цепь второго порядка является полосовым фильтром? 12. При каких условиях нерекурсивная цепь второго порядка является режекторным фильтром? 13. Что показывает диаграмма характеристик КИХ-фильтра второго порядка? 14. При каких значениях весовых коэффициентов нерекурсивная цепь второго порядка имеет линейную фазовую характеристику?	5417
4	Биквадратное звено 1. Запишите разностное уравнение для биквадратного звена. 2. Изобразите структурную схему биквадратного фильтра для прямой (канонической) формы его реализации.	5417

	3. Запишите передаточную функцию биквадратного звена. 4. Запишите выражения для АЧХ и ФЧХ биквадратного звена. 5. Какие значения могут принимать нули и полюса биквадратного фильтра при реализации ФНЧ (ФВЧ, ПФ, РФ)? 6. Можно ли реализовать полосовой фильтр при $a_2 = b_2 = 0$? 7. Запишите передаточную функцию биквадратного звена в нуль-полюсной форме. 8. Запишите частотную характеристику биквадратного звена при комплексно-сопряженных нулях и полюсах в нуль-полюсной форме. 9. Как находится выражение для импульсной характеристики биквадратного звена? 10. Как находится передаточная функция ЦФ при каскадной (или параллельной) форме его реализации? 11. Как находится аналитическое выражение для импульсной характеристики ЦФ при параллельной форме его реализации? 12. В чем суть графоаналитического способа анализа частотных характеристик ЦФ? 13. Каковы условия реализации фазового звена первого порядка? 14. Каковы условия реализации фазового звена второго порядка?	
--	--	--

Контрольные вопросы для оценки сформированности компетентций

1. Общая структура системы цифровой обработки сигналов
2. Дискретизация аналоговых сигналов с финитным спектром. Теорема отсчетов.
3. Спектр дискретных сигналов. Свойство периодичности.
4. Квантование сигналов по уровню. Шумы квантования
5. Методы математического описания линейных дискретных систем во временной области, разностные уравнения.
6. Структурные схемы рекурсивных и нерекурсивных фильтров. Прямая и каноническая формы реализации.
7. Импульсная характеристика $h(n)$ дискретных систем. Дискретная временная свертка.
8. Цифровые фильтры БИХ- и КИХ-типа.
9. Методы математического описания сигналов дискретных систем на комплексной плоскости. Z-преобразование, основные свойства.
10. Передаточная функция дискретной системы. Связь между $H(z)$ и $h(n)$. Критерий устойчивости.
11. Частотная характеристика дискретной системы, связь между $H(z)$ и $H(j\omega)$. АЧХ и ФЧХ дискретных систем. Свойство периодичности.
12. БИХ-фильтры 1-го порядка: основные характеристики и свойства (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).
13. БИХ-фильтры 2-го порядка: основные характеристики и свойства. (АЧХ, импульсная и переходная характеристики).

14. КИХ-фильтр 1-го порядка: основные характеристики и свойства.
15. КИХ-фильтр 2-го порядка: основные характеристики и свойства.
16. Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций. Методика синтеза КИХ-фильтров методом весовых функций.
17. Синтез нерекурсивных фильтров методом частотной выборки
18. Методы цифровой фильтрации конечных последовательностей на основе дискретного преобразования Фурье

Составил
доцент кафедры РТС
к.т.н., с.н.с.
Заведующий кафедрой РТС
д.т.н., профессор

В.П.Косс

В.И.Кошелев