

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

«Цифровая обработка сигналов»

Специальность
11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы

Направление подготовки
«Радиоэлектронные системы передачи информации»
«Радиосистемы и комплексы управления»
«Радионавигационные системы и комплексы»
«Радиоэлектронная борьба»

Уровень подготовки
специалитет

Программа подготовки
специалитет

Квалификация выпускника – инженер

Форма обучения – очная

Рязань 2022

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 обучающимися 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 экзамена. Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины. В экзаменационный билет включается один теоретический вопрос и две задачи. 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	ОПК-7, ПК-4	экзамен
2	Математическое описание и характеристики дискретных систем	ОПК-7, ПК-4	экзамен
3	Характеристики и структуры цифровых фильтров	ОПК-7, ПК-4	экзамен
4	Синтез цифровых фильтров по заданной частотной характеристике	ОПК-7, ПК-4	экзамен
5	Синтез нерекурсивных фильтров по заданной частотной характеристике	ОПК-7, ПК-4	экзамен

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 бальной отметки:

«Отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

«Хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

«Удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

«Неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Типовые контрольные задания или иные материалы

Вопросы к промежуточной аттестации (экзамену)

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):

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

- 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

$$\omega_0 = \frac{2\pi k_0}{N}, \text{ где } k_0 - \text{целое число}$$

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

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

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 параметров (а и b) передаточной функции рекурсивного фильтра 1-го порядка

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

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 параметров (а, b_1 и b_2) передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{a}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

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 a передаточной функции рекурсивного фильтра 2-го порядка

$$H(z) = \frac{1}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

определить коэффициенты передаточной функции b_1 и b_2 и выполнить задания по п. 4.2.

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

$$H(z) = \frac{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}$$

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	Исследование процессов дискретизации сигналов 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	Рукоп

	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 определяется автокорреляционная функция и спектральная плотность шума квантования АЦП? 15. При каком условии цифровой и дискретный сигналы математически адекватны?	
2	Исследование характеристик БИХ-фильтров 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? 6. Как получить частотную характеристику БИХ-фильтра по его передаточной функции? 7. Формы реализации РФ (прямая, каноническая, каскадная и параллельная). 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. 12. Свойства импульсной характеристики БИХ-фильтра 2-го порядка. 13. Биквадратный фильтр второго порядка: разностное уравнение, передаточная функция, структурная схема. 14. Частотные характеристики биквадратного фильтра. 15. Импульсная характеристика биквадратного фильтра	Рукоп
3	Исследование характеристик КИХ-фильтров 1. Запишите разностное уравнение для КИХ-фильтров. 2. Какова структура НФ на основе ДВС? 3. Запишите выражение для передаточной функции КИХ-	Рукоп

	фильтра. 4. Как получить частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) НФ? 5. Каково условие линейности фазочастотной характеристики НФ? 6. Запишите выражение для импульсной характеристики КИХ-фильтра. 7. Анализ частотных характеристик КИХ-фильтра 1-го порядка. 8. Получить выражение для импульсной характеристики КИХ-фильтра 1-го порядка. 9. Получить выражение для переходной характеристики КИХ-фильтра 1-го порядка. 10. Анализ частотных характеристик КИХ-фильтра 2-го порядка. 11. Импульсной характеристики КИХ-фильтра 2-го порядка. 12. Импульсной характеристики КИХ-фильтра 2-го порядка.	
4	Синтез КИХ-фильтров методом весовых функций 1. Как находится импульсная характеристика синтезируемого НФ в методе весовых функций? 2. Каковы параметры и типичный вид частотных характеристик весовых функций? 3. Какова связь параметров частотной характеристики НФ и весовой функции? 4. Какие требования предъявляются к весовым функциям при синтезе НФ? 5. Из каких условий выбирается вид весовой функции? 6. Как находится необходимая длина весовой функции? 7. Как в методе весовых функций обеспечивается необходимое затухание АЧХ в полосе задерживания? 8. Как в методе весовых функций достигается соответствие заданных и расчетных граничных частот фильтра? 9. В чем особенность и преимущество использования весовых функций Кайзера для синтеза НФ? 10. Почему метод весовых функций относят к итерационным методам синтеза НФ? 11. Какую ФЧХ имеют НФ, синтезированные методом весовых функций? 12. Как находится импульсная характеристика синтезируемого НФ методом частотной выборки?	Рукоп

Контрольные вопросы для оценки сформированности компетнций

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