ПРИЛОЖЕНИЕ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

Кафедра «Телекоммуникаций и основ радиотехники»

# ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
# ПО ДИСЦИПЛИНЕ
# Б1.О.33 «Цифровая обработка сигналов»

Направление подготовки
09.03.04 «Программная инженерия»

Направленность (профиль) подготовки
«Программное обеспечение систем искусственного интеллекта»

Уровень подготовки
Бакалавриат

Квалификация выпускника – бакалавр

Формы обучения – очная

Рязань 2026

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов, предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной профессиональной образовательной программы.

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

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности 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, приобретенных обучающимися в ходе выполнения индивидуальных заданий на лабораторных работах. При оценивании результатов освоения лабораторных работ применяется шкала оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ и их тематика определена рабочей программой дисциплины.

Результат выполнения каждого индивидуального задания должен соответствовать всем критериям оценки в соответствии с компетенциями, установленными для заданного раздела дисциплины.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением теоретического зачета.

Форма проведения зачета – устный ответ с письменным подкреплением (по необходимости).

Дополнительным средством оценки знаний и умений студентов является отчет о проведении лабораторных работ и его защита.

## Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам) | Код контролируемой компетенции (или ее части) | Вид, метод, форма оценочного мероприятия |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Цифровая обработка сигналов – информатика реального времен. Основы ЦОС. | ОПК-6.1<br>ОПК-6.2<br>ОПК-8.1, ПК-10.4 | зачет |
| 2 | Описание цифровых сигналов в частотной области. Дискретное преобразование Фурье. Алгоритм БПФ. Быстрая свертка. Спектральный анализ. Анализ собственных шумов в цифровых фильтрах. | ОПК-6.1<br>ОПК-6.2<br>ОПК-8.1, ПК-10.4 | зачет |
| 3 | Многоскоростная и адаптивная обработка сигналов. | ОПК-6.1<br>ОПК-6.2<br>ОПК-8.1, ПК-10.4 | зачёт |
| 4 | Нейросетевая обработка сигналов. | ОПК-6.1<br>ОПК-6.2<br>ОПК-8.1, ПК-10.4 | зачет |

## Критерии 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.

В процессе оценки сформированности знаний, умений и навыков обучающегося по дисциплине, производимой на этапе промежуточной аттестации в форме теоретического зачета, используется оценочная шкала «зачтено – не зачтено»:

Оценка **«зачтено»** выставляется обучающемуся, 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.

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 лабораторной работы.

Оценка **«не зачтено»** выставляется обучающемуся, который в ответах на основные вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления о взаимосвязях элементов курса и использования предметной терминологии у обучающегося нет. Оценивается качество устной и письменной речи, как и при выставлении положительной оценки.

## Типовые контрольные мероприятия

**Пример 1.** Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

**Решение:**

Реакция на выходе КИХ-фильтра определяется как взвешенная сумма импульсных характеристик, сдвинутых по времени на момент текущего входного воздействия:

Y(0) = X(0)H(n) = 1; -1; 1; -1; 0; ….
Y(1) = X(1)H(n-1) = 0; 1; -1; 1; -1; 0; …
Y(2) = X(2)H(n-2) = 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; …
Y(3) = X(3)H(n-3) = 0; 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; …

---

Y(n) = сумма по столбцам = 1; 0; -1; 0; - 1; 0; 1; 0; ….

**Пример 2**. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

**Решение:**

Реакция на выходе КИХ-фильтра определяется как взвешенная сумма импульсных характеристик, сдвинутых по времени на момент текущего входного воздействия:

Y(0) = X(0)H(n) = 1; - 1; 1; -1; 0; ….
Y(1) = X(1)H(n-1) = 0; 0,7; -0,7; 0,7; -0,7; 0; …
Y(2) = X(2)H(n-2) = 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0; …
Y(3) = X(3)H(n-3) = 0; 0; 0; 1; -1; 1; -1; 0; …
Y(4) = X(4)H(n-4) = 0; 0; 0; 0; -0,7; 0,7; -0,7; 0,7; 0; …
Y(5) = X(5)H(n-5) = 0; 0; 0; 0; 0; -1; 1; -1; 1; 0; …

---

Y(n) = сумма по столбцам = 1; -0,3; 0,3; 0,7; -2,4; 0,7; -0,7; -0,3; 1; 0; …

| Образцы контрольных заданий |
|---|
| БИЛЕТ № 1-1 |
| 1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.<br>2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.<br>3. Как графически отображается структура ЦФ вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:<br>$y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$<br>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:<br>$X = \{1;1;-1;-1\};$ $H = \{1;0,5;0,25;0\}.$ |
| БИЛЕТ № 1-2 |
| 1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.<br>2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.<br>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:<br>$y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4).$<br>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:<br>$X = \{1;1;-1;-1\};$ $H = \{1;-0,5;0,25;0\}.$ |
| БИЛЕТ № 1-3 |
| 1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.<br>2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.<br>3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:<br>$y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5).$<br>4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, |

представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{0;0{,}5;0{,}1;0{,}5;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-4

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{-1;0{,}5;-0{,}25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-5

1. Z-преобразование и его свойства.
2. Основные этапы проектирования системы ЦОС.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{0;0{,}5;0{,}1;0{,}5;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-6

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{-1;0{,}5;-0{,}25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-7

1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных ЦЦ.

2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;1;-1;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-8

1. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.

2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-9

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.

2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-10

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

2. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;-1;1;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-11

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-2) + y(n-1) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{1;0,5;0,25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-12

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Преобразование Фурье и его свойства. Связь с Z-преобразованием.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-3) + 2y(n-1) - y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{1;-0,5;0,25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-13

1. Z-преобразование и его свойства.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-3) + x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-14

1. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.

2. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 3x(n-2) - y(n-1) + 5y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-15

1. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.

2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = 3x(n) - x(n-5) + y(n-1) + 2y(n-2) - 4y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{0;0,5;1;0,5;0\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-16

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.

2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -x(n) + 5x(n-3) + 2y(n-2) - 3y(n-3).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;0,5;0,25;0\}.$$

## БИЛЕТ № 1-17

1. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

2. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.

3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = -2x(n) + 4x(n-4) - y(n-1) + 2y(n-2) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;-0,5;0,25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-18

1. Элементарные цифровые звенья и их графическое отображение.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - x(n-4) + 2y(n-1) + 3y(n-3) - 5y(n-5).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{0;0,5;0,1;0,5;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-19

1. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
2. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - x(n-3) + y(n-1) + y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{-1;0,5;-0,25;0\}.$$

БИЛЕТ № 1-20

1. Z-преобразование и его свойства.
2. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.
3. Как графически отображается структура ЦФ, вход $x(n)$ и выход $y(n)$, которого связаны уравнением вида:

$$y(n) = x(n) - 4x(n-4) + 2y(n-2) - 3y(n-4).$$

4. Вычислите свертку двух временных последовательностей $x(n)$ и $h(n)$, представленных в виде трансформированных векторов, и нарисуйте графики входного $x(n)$, выходного $y(n)$ сигналов и импульсной характеристики $h(n)$:

$$X = \{1;0,7;0;1;-0,7;-1\}; \qquad H = \{1;-1;1;-1;0\}.$$

**Пример 3**. Найти передаточную функцию $H(z)$, АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику БИХ-фильтра, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

**Решение:**

Применяя Z-преобразование левой и правой части, находим передаточную функцию:

$$Y(z) - 0{,}81z^{-2}Y(z) = -3X(z) + z^{-1}X(z);$$

$$(1 - 0{,}81z^{-2})Y(z) = (-3 + z^{-1})X(z);$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{-3 + z^{-1}}{1 - 0{,}81z^{-2}} = \frac{1 - 3z}{z^2 - 0{,}81}.$$

Используя подстановку $z = e^{j\omega}$, получим комплексную частотную характеристику

$$H(j\omega) = \frac{(1 - 3\cos\omega) - j\,3\sin\omega}{(\cos 2\omega - 0{,}81) + j\sin 2\omega}.$$

Отсюда АЧХ и ФЧХ

$$H(\omega) = \frac{\sqrt{(1 - 3\cos)^2 + 9\sin^2\omega}}{\sqrt{(\cos 2\omega - 0{,}81)^2 + \sin^2 2\omega}};$$

$$\varphi(\omega) = arctg\,\frac{3\sin\omega}{1 - 3\cos\omega} - arctg\,\frac{\sin 2\omega}{\cos 2\omega - 0{,}81}.$$

Для расчета импульсной характеристики передаточную функцию фильтра представим в виде произведения передаточной функции КИХ-фильтра $H_{ких}(z)$ и передаточной функции БИХ-фильтра $H_{бих}(z)$:

$$H(z) = H_{ких}(z)H_{бих}(z) = (-3 + z^{-1})\frac{1}{1 - 0{,}81z^{-2}}.$$

Тогда, искомая импульсная характеристика

$$h(n) = -3h_{бих}(n) + h_{бих}(n-1).$$

Осталось найти импульсную характеристику БИХ-фильтра.

Представим передаточную функцию БИХ-фильтра 2-го порядка в виде суммы передаточных функций двух БИХ-фильтров 1-го порядка:

$$H_{бих}(z) = \frac{1}{1 - 0{,}81z^{-2}} = \frac{1}{(1 - z_{n1}z^{-1})(1 - z_{n2}z^{-1})} =$$

$$= \frac{1}{(1 - 0{,}9z^{-1})(1 + 0{,}9z^{-1})} = \frac{A}{1 - 0{,}9z^{-1}} + \frac{B}{1 + 0{,}9z^{-1}},$$

где $z_{n1}, z_{n2}$ – корни уравнения $z^2 - 0{,}81 = 0.$

Методом неопределенных коэффициентов находим $A = B = 0{,}5.$

Таким образом,

$$h_{бих}(z) = 0{,}5(0{,}9)^n + 0{,}5(-0{,}9)^n.$$

**Пример 4**. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

**Решение:**

$Y(k) = 0$ при всех $k$ от 0 до 15, кроме $k = 1$ (16-1 = 15) и $k = 4$ (16-4 = 12).

$Y(1) = -j16; \quad Y(15) = j16; \quad Y(4) = 8; \quad Y(12) = 8.$

Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 4\sin 2\frac{2\pi}{16}n + \cos 6\frac{2\pi}{16}n.$$

**Решение:**

$Y(k) = 0$ при всех $k$ от 0 до 15, кроме $k = 2$ (16-2 = 14) и $k = 6$ (16-6 = 10).

$Y(2) = -j32; \quad Y(14) = j32; \quad Y(6) = 8; \quad Y(10) = 8.$

| **Образцы контрольных заданий** |
|---|
| БИЛЕТ № 2-1 |
| 1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.<br>2. Метод частотной выборки.<br>3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:<br>$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$<br>4. Построить ДПФ дискретного сигнала:<br>$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$ |
| БИЛЕТ № 2-2 |
| 1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).<br>2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность. |

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-3

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-4

1. Передаточные функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни)

2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}5\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-5

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 2\frac{2\pi}{16}n - \cos\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-6

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n - \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-7

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-8

1. Прямая задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 6\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-9

1. Каноническая, параллельная и последовательная формы БИХ-фильтров.

2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin\frac{2\pi}{16}n - \cos 5\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-10

1. Передаточная функция, частотная и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin 3\frac{2\pi}{16}n + \cos 5\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-11

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (комплексно-сопряженные корни).

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 2\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-12

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}5\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-13

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) - x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}2\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-14

1. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) + 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 6\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-15

1. Обратная задача оптимального проектирования цифровых фильтров. Метод декомпозиции.

2. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 5x(n) + x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = -3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 3\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-16

1. Каноническая, параллельная и каскадная формы БИХ-фильтров.

2. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 7\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-17

1. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 2\sin 3\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-18

1. Передаточная функции, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

2. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 2x(n) + x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 0{,}3\sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 4\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-19

1. Передаточная функция, частотные и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка (действительные корни).

2. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = 10\sin\frac{2\pi}{16}n + 5\cos 2\frac{2\pi}{16}n.$$

БИЛЕТ № 2-20

1. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

2. Метод частотной выборки.

3. Найти передаточную функцию $H(z)$, определить тип фильтра и степень его устойчивости по положению полюсов. Построить АЧХ и ФЧХ фильтра, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) + x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

4. Построить ДПФ дискретного сигнала:

$$y(n) = \sin\frac{2\pi}{16}n + \cos 7\frac{2\pi}{16}n.$$

**Пример 5.** Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

**Решение:**

Анализ шумовой модели показывает, что имеют место три источника шумов округления при умножении: первое, третье и четвертое произведения.

Все источники шума входят в одну точку на выходе линии задержки отсчетов входного сигнала $x(n)$ и на входе линии задержки отсчетов выходного сигнала $y(n)$. Поэтому достаточно найти импульсную характеристику участка цифровой цепи от входа источников шума до выхода цифрового фильтра $h_e(n)$.

Тогда дисперсия собственного шума может быть рассчитана по формуле

$$\sigma^2_{вых} = 3\sigma_0^2 \sum_{n=0}^{\infty} h_e^2(n), \text{ где } \sigma_0 = \frac{2^{-16}}{12}.$$

С тем, чтобы найти импульсную характеристику $h_e(n)$, воспользуемся передаточной функцией по ошибке

$$H_e(z) = \frac{1}{1+1{,}6z^{-1}+0{,}63z^{-2}} = \frac{z^2}{z^2+1{,}6z+0{,}63} = \frac{A}{(1-z_{n1}z^{-1})} + \frac{B}{(1-z_{n2}z^{-1})}.$$

Из решения уравнения $z^2+1{,}6z+0{,}63=0,$ находим $z_{n1}=-0{,}7; z_{n2}=-0{,}9.$

Тогда

$$H_e(z) = \frac{A}{(1+0{,}7z^{-1})} + \frac{B}{(1+0{,}9z^{-1})}.$$

Методом неопределенных коэффициентов получаем

$$A+0{,}9Az^{-1}+B+0{,}7Bz^{-1}=1.$$

Отсюда составляется система уравнений:

$$\begin{cases} A+B=1; \\ 0{,}9A+0{,}7B=0. \end{cases}$$

Следовательно, $A$ = -3,5 и $B$ = 4,5.

Окончательно,

$$h_e(n) = A(-0{,}7)^n + B(-0{,}9)^n = -3{,}5(-0{,}7)^n + 4{,}5(-0{,}9)^n.$$

| Образцы контрольных заданий |
|---|
| БИЛЕТ № 3-1 |
| 1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.<br>2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если: |

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-2

1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-3

1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-4

1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-5

1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-6

1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-7

1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-8

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-9

1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-10

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-11

1. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 0{,}25y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-12

1. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) - 2x(n-1) + 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-13

1. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + x(n-2) - 1{,}3y(n-1) - 0{,}4y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-14

1. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 3x(n) - 2x(n-1) + 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-15

1. Вычисление собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 5x(n) - x(n-1) - 1{,}6y(n-1) - 0{,}63y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-16

1. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = -3x(n) + x(n-1) + 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-17

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) + 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-18

1. Квантование коэффициентов ЦФ и оценка его влияния.
2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 2x(n) - x(n-1) - 1{,}4y(n-1) - 0{,}98y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-19

1. Шумовая модель Джексона и ее применение для расчета масштабирующих множителей.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = x(n) + 3x(n-1) - 0{,}81y(n-2).$$

БИЛЕТ № 3-20

1. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.

2. Построить шумовую модель ЦФ и рассчитать дисперсию собственного шума на его выходе при 16-разрядном представлении данных на выходах умножителей, если:

$$y(n) = 0{,}5x(n) - x(n-1) + 1{,}8y(n-1) - 0{,}82y(n-2).$$

## Примеры контрольных вопросов в лаборатории

1. Сформулируйте требования, которые предъявляются к проектированию цифрового низкочастотного фильтра.

2. Перечислите элементарные цифровые звенья и представьте их графическое отображение, приведите пример цифровой цепи.

3. Что понимают под метрикой пространства функций и какая метрика используется в теории цифровых цепей?

4. Что понимают под инвариантностью к сдвигу линейной цифровой цепи? Перечислите основные свойства цифровых цепей, инвариантных к сдвигу.

5. Как связаны вход и выход линейной цифровой цепи?

6. Дайте определение импульсной характеристики цифровой цепи. Как связаны между собой импульсная характеристика цифровой цепи и воспроизводимая функция передачи?

7. Какая цифровая цепь считается устойчивой и физически реализуемой? Назовите условия устойчивости и физической реализуемости линейной цифровой цепи.

8. Как связаны друг с другом вход и выход КИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки КИХ-цепей.

9. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе КИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.

10. Как связаны друг с другом вход и выход БИХ-фильтра? Перечислите основные свойства, достоинства и недостатки БИХ-цепей.

11. Дайте определение Z-преобразования и назовите его основные свойства.

12. Используя Z-преобразование, докажите, что передаточная функция БИХ-фильтра является отношением двух полиномов.

13. Сформулируйте задачу аппроксимации желаемой функции передачи в классе БИХ-цепей и назовите основные способы ее решения.

14. Почему и каким способом выполняется переход к параллельной и последовательной формам реализации БИХ-фильтра?

15. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 1-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

16. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

17. Приведите структурную схему, разностное уравнение, передаточную функцию биквадратной формы БИХ-фильтра 2-го порядка и опишите его свойства: АЧХ, ФЧХ и импульсную характеристику.

18. Дайте определение дискретного преобразования Фурье и назовите его основные отличительные свойства.

19. Как связаны друг с другом дискретный синусоидальный сигнал заданной частоты и его Фурье-образ?

20. Назовите отличительные свойства алгоритма быстрого преобразования Фурье: ограничения и вычислительную эффективность.

21. Перечислите основные операции алгоритма быстрой свертки и условия их реализации.

## Вопросы к зачету по дисциплине «Цифровая обработка сигналов»

1. Предмет и задачи ЦОС в цифровых цепях.
2. Математическая постановка задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.
3. Математическое описание класса операторов линейных цифровых цепей, инвариантных к сдвигу: уравнение свертки, импульсная характеристика.
4. Z-преобразование и его свойства.

5. Преобразование Фурье и его связь с Z-преобразованием.

6. Устойчивость и физическая реализуемость линейных цифровых цепей.

7. Описание линейных дискретных систем и цифровых цепей в Z-области.

8. Передаточная функция цифровой цепи. Взаимосвязь между передаточной функцией и разностным уравнением.

9. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев первого порядка.

10. Передаточные функции и импульсные характеристики цифровых звеньев второго порядка.

11. Дискретное преобразование Фурье и его свойства. Прямое и обратное дискретное преобразование Фурье.

12. Алгоритм быстрого преобразования Фурье и его вычислительная эффективность.

13. Математическое описание цифровых фильтров в классах КИХ- и БИХ-цепей. Сравнительный анализ эффективности двух классов линейных цифровых цепей.

14. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе БИХ-цепей.

15. Каноническая и каскадная формы БИХ-фильтров.

16. Разностное уравнение ЦФ в классе БИХ-цепей.

17. Постановка и решение задачи аппроксимации функции передачи ЦФ в классе КИХ-цепей.

18. Метод частотной выборки и его модификации.

19. Вычисление быстрой свертки на основе алгоритма БПФ.

20. Математическая формализация и решение задачи оптимального проектирования цифровых фильтров.

21. Прямая и обратная задачи оптимального проектирования цифровых фильтров. Методы декомпозиции.

22. Децимация, как способ понижения частоты дискретизации.

23. Интерполяция, как способ повышения частоты дискретизации.

24. Метод синтеза узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции.

25. Двухступенчатая форма реализации узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции.

26. Многоступенчатая структура ЦФ: метод Белланже.

27. Полифазная форма фильтра-дециматора.

28. Параллельная форма фильтра-дециматора.

29. Метод синтеза цифрового полосового фильтра на основе демодуляции/модуляции преобразуемого сигнала.

30. Цифровые гребенчатые фильтры: отличительные особенности и основные характеристики.

31. Цифровой гребенчатый КИХ-фильтр и его свойства.

32. Цифровой гребенчатый БИХ-фильтр и его свойства.

33. Метод синтеза структуры узкополосного ЦФ на основе децимации и интерполяции импульсной характеристики (с прореживанием по частоте).

34. Трехкаскадная форма реализации узкополосного фильтра на основе децимации и интерполяции импульсной характеристики (с прореживанием по частоте).

35. Эффекты конечной разрядности чисел в цифровых цепях. Линейная модель шума квантования.

36. Шум аналого-цифрового преобразования и его оценка.

37. Шумы округления в цифровых фильтрах при представлении чисел с фиксированной запятой.

38. Шумовая модель ЦФ первого порядка и его оценка.

39. Шумовая модель ЦФ второго порядка и его оценка.

40. Методика вычисления собственного шума на выходе линейной цифровой цепи.

41. Эффекты переполнения в сумматорах и борьба с ними. Ограничение динамического диапазона. Масштабирование.

42. Шумовая модель Джексона им ее применение для масштабирования переменных и оценки собственного шума.

43. Адаптивные фильтры: назначение, классификация, применение.

44. Адаптивные КИХ-фильтры: общее описание и методы синтеза.

45. Методы поиска параметров рабочей функции. Устойчивость и скорость сходимости. Обучающая кривая.

46. Градиентные методы поиска: метод Ньютона и метод наискорейшего спуска.

47. Метод наименьших квадратов (МНК): вывод алгоритма МНК, анализ сходимости, обучающая кривая.

48. Адаптивные БИХ-фильтры: прямая форма реализации.

49. Кодирование с линейным предсказанием. Модель речевого сигнала на основе адаптивного фильтра линейного предсказания.

50. Адаптивное подавление помех. Подавление и фильтрация периодических сигналов с помощью адаптивного устройства предсказания.

Составили

Доцент кафедры ТОР Волченков В.А.

Д.т.н., зав. кафедрой ТОР Витязев В.В.



Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
СОГЛАСОВАНО **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ,** Витязев Владимир Викторович, Заведующий кафедрой ТОР **05.10.26** 15:25 (MSK) Простая подпись